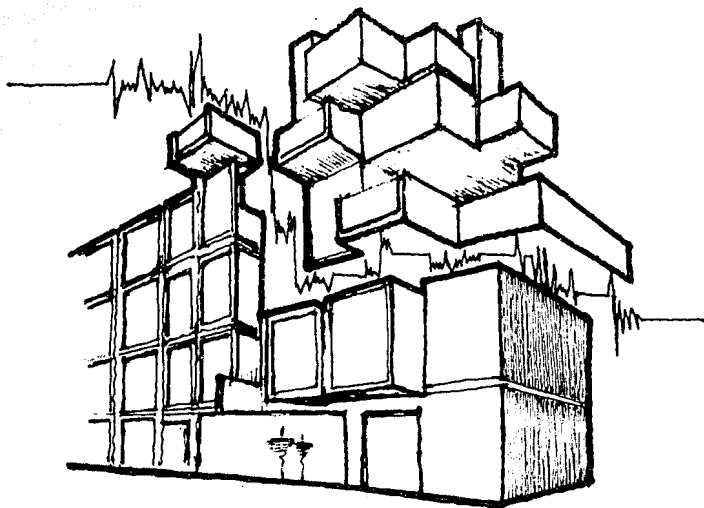


00164

2es.  
3

**importancia de los  
sismos en el  
proyecto arquitectónico**

**alejandro rojas contreras**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

1987



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## FE DE ERRATAS

PAG	RENGLON	DONDE DICE	DEBE DECIR
13	31	atravez	a través
29	7	lb/ft=	lb/ft <sup>2</sup>
29	23	largar	alargar
32	1	flexional	flexionante
50	17	eje A	eje 1
54	12	preveer	prever
55	2	especificacines	especificaciones
62	30	atravez	a través
78	8	pretencioso de dicho	pretencioso hablar de dicho
81	19	exéntica	excéntrica
92	14	cuando hace falta	cuando sobra
92	24	cuando fallas	cuando fallan
101	3	relleno flexibl	relleno flexible
116	26	la magnitud en trabes	la magnitud de daños en trabes
118	13	debe evitarse	debe procurarse
133	29	producidos poe	producidos por
146	6	FALLAS DE VIDAS	FALLAS DEBIDAS
151	8	estacionamientos	estancamientos
165	35	emdio	medio
166	6	estictamente	estrictamente
167	2	profesó	profesión
169	1	CONCLUSIONES	CONCLUSIONES
169	9	sismicidad, conllevado	sismicidad ha conllevado
169	16	compo	campo

## INDICE

### INTRODUCCION

#### I.- ANTECEDENTES SISMOLOGICOS.

- 1.1.- Introducción.
  - 1.2.- Origen de los sismos.
  - 1.3.- Foco, Magnitud e Intensidad.
  - 1.4.- Propagación de los Sismos.
  - 1.5.- Aparatos de Medición Sísmica.
  - 1.6.- Espectros de Respuesta y Coeficientes Sísmicos.
- Referencias del capítulo I.

#### II.- ANTECEDENTES MECANICOS DE LAS ESTRUCTURAS.

- 2.1.- Introducción.
  - 2.2.- Definiciones Básicas.
    - 2.2.1.- Oscilación.
    - 2.2.2.- Período, Frecuencia, Amplitud y Centro de Equilibrio.
    - 2.2.3.- Masa, Peso y Gravedad.
    - 2.2.4.- Energía.
    - 2.2.5.- Inercia.
  - 2.3.- Fuerzas y Esfuerzos.
  - 2.4.- Momento.
    - 2.4.1.- Momento Flexionante y Torsionante.
  - 2.5.- Características Mecánico-Geométricas.
    - 2.5.1.- Centro de Gravedad, Centro de Área y Centro de Masas.
    - 2.5.2.- Momento de Inercia.
    - 2.5.3.- Punto de Fluencia y Módulo Elástico.
    - 2.5.4.- Rigidez.
    - 2.5.5.- Centro de Rigideces.
- Referencias del Capítulo II

### III.- ANTECEDENTES ESTRUCTURALES.

- 3.1. Introducción.
- 3.2.- Metodología del Diseño de una Estructura.
- 3.3.- Modelos Físicos de las Estructuras para Análisis Sísmicos.
- 3.4.- Centro de Masas y Centro de Rigideces.
- 3.5.- Momento de Torsión.
- 3.6.- Métodos de Análisis Sísmico.
- 3.6.1.- Método Simplificado.
- 3.6.2.- Método Estático.
- 3.6.3.- Método Dinámico Modal.
- 3.7.- Manual de Diseño Sísmico del Reglamento para Construcciones en el D.F.
- 3.8.- Metodología para la Revisión de Estructuras Falladas por Sismo.

#### REFERENCIAS DEL CAPITULO III

### IV.- COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS ANTE FUERZAS SISMICAS.

- 4.1. Introducción.
- 4.2.- Antecedentes introductorios a la Mecánica de Suelos.
- 4.2.1.- Tipos de suelos y Zonificación en el Distrito Federal.
- 4.2.2.- Propiedades Índice de los suelos.
- 4.3.- Comportamiento de los suelos de acuerdo a su tipo.
- 4.3.1.- Suelos Secos no cohesivos. Arenas, gravas, limos.
- 4.3.2.- Suelos no cohesivos parcialmente saturados.
- 4.3.3.- Suelos no cohesivos saturados.
- 4.3.4.- Suelos cohesivos saturados. Arcillas, Limos orgánicos.
- 4.3.5.- Suelos cohesivos parcialmente saturados.
- 4.3.6.- Rocas.
- 4.4.- Bases de la Interacción Suelo-Estructura.
- 4.5.- Tipos de Cimentaciones.
- 4.5.1.- Cimientos superficiales.
- 4.5.2.- Cimientos profundos.

#### REFERENCIAS DEL CAPITULO IV

**V.- COMPORTAMIENTO SISMICO DE LAS ESTRUCTURAS.**

- 5.1.- Introducción.
- 5.2.- Efectos del Sismo en la Estructura.
- 5.3.- Forma de la Estructura.
- 5.4.- Losas, Trabes, Columnas, Muros y Contravientos.
  - 5.4.1.- Losas.
  - 5.4.2.- Trabes y Columnas.
- 5.4.3.- Marcos, Muros de Cortante y Contravientos.
- 5.5.- Conexión entre los Elementos de la Estructura.
- 5.6.- Elementos Estructurales.
- 5.7.- Redundancias en la Resistencia Estructural.
- 5.8.- Ductilidad.

**REFERENCIAS DEL CAPITULO V.****VI.- LA ALTURA Y RESONANCIA.**

- 6.1.- Introducción.
- 6.2.- La Relación de Esbeltez.
- 6.3.- Resonancia o acompasamiento de ondas.
- 6.4.- Prevención de la Resonancia.
- 6.5.- Caso de Resonancia. Estudio de un edificio con estructura de concreto.
  - 6.5.1.- Antecedentes.
  - 6.5.2.- Procedimiento.
  - 6.5.3.- Descripción de la Estructura original.
  - 6.5.4.- Estado de la estructura después del sismo.
  - 6.5.5.- Conclusiones.

**REFERENCIAS DEL CAPITULO VI.****VII.- LA SIMETRIA, TORSION Y VOLTEO.**

- 7.1.- Introducción.
- 7.2.- Simetría en planta.
- 7.3.- Longitud y ancho.
- 7.4.- Simetría en Alzado. Entrepisos flexibles.
- 7.5.- Reducción de secciones, elevadores y apéndices.
- 7.6.- Configuraciones complejas en alzado.
- 7.7.- Edificios en esquina y con retentimientos.
  - 7.7.1.- Edificios en esquina.

7.7.2.- Edificios con rematamientos.

7.8.- Fachadas.

REFERENCIAS DEL CAPITULO VII.

VIII.- COMPORTAMIENTO DE LAS CIMENTACIONES.

8.1.- Introducción.

8.2.- La Superestructura y la Cimentación.

8.3.- Elección del Tipo de Cimentación.

8.4.- Comportamiento de las Cimentaciones.

8.4.1.- Fallas debidas al suelo.

8.4.2.- Cimientos superficiales.

8.4.3.- Cimentaciones Compensadas.

8.4.4.- Cimentaciones sobre pilotes de punta.

8.4.5.- Cimentaciones sobre pilotes de fricción.

8.4.6.- Cimentaciones sobre pilotes de control.

REFERENCIAS DEL CAPITULO VIII

IX.- ASPECTOS DE LA CONSTRUCCION EN ZONAS SISMICAS.

9.1.- Introducción.

9.2.- Planos Ejecutivos.

9.3.- Supervisión de Obra.

9.4.- Ductos para instalaciones.

9.5.- La Etica Profesional.

REFERENCIAS DEL CAPITULO IX.

X.- CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.



# INTRODUCCION





## INTRODUCCION

A lo largo de la historia de la humanidad, se han sucedido infinidad de fenómenos catastróficos que han cobrado un sin número de vidas e incontables pérdidas materiales y no nos referimos a aquellos que puedan denominarse sociales, políticos o económicos, pues ellos, dentro de cierta utopía, pueden ser manejados por el hombre y han sido creados, ocasionados o desarrollados por el hombre mismo desde que éste tuvo la condición de humano. Nos referimos precisamente a los fenómenos geológicos, a los que emanan de la tierra, dada su condición de cambio continuo; a aquellos que el hombre, aprendió a temer en su incapacidad para entenderlos y controlar sus efectos; a los que nuestros antepasados llamaron Olyn (1) y nosotros conocimos como Terremotos.

Específicamente hablando, México, por su composición geológica, es un país eminentemente sísmico. Desde tiempos inmemoriales se han registrado movimientos telúricos y existen cantidad de reseñas históricas que los mencionan y en los que se hace referencia a sus efectos: -- Hundimientos de tierra, derrumbes y muertes (2); de tal forma que no es extraordinario que la Ingeniería Sísmica en México, sea una de las ramas más avanzadas del conocimiento científico-tecnológico del hombre, incluso a nivel mundial, aunque esto no signifique que se cuente con plenos conocimientos acerca de los sismos y sus efectos.

A pesar de lo anterior, resulta extraordinario que estos conocimientos se impartan adecuadamente, desde el punto de vista estructural, en las áreas de especialización de algunas facultades de Ingeniería Civil, restringiéndose aún más, en la mayoría de los casos, a estudios de Posgrado, en otras facultades afines.

Ahora bien, siendo que el comportamiento sísmico de la estructura de una edificación de cualquier índole, depende en gran parte de su concepción Arquitectónica, es decir, de su configuración general, tamaño, forma y distribución de espacios que la componen, además de la premisa de que en México existen zonas sísmicas bien definidas, cabe preguntarse ¿Porqué el Arquitecto no diseña tomando en cuenta estos factores?

Darle al Arquitecto conocimientos profundos sobre análisis y Diseño Estructural, resulta ría fuera de contexto, tanto como pretender que un Ingeniero Civil tuviera conocimientos amplos sobre diseño Arquitectónico. Espero, existe entre estas dos profesiones, una conjunción de conceptos ligados íntimamente; un espacio vacío en el que confluyen ambas ramas donde ----

"La Arquitectura es Ingeniería" y "La Ingeniería es Arquitectura"

Podría resultar imposible, quizá quimérico, tratar de definir los límites precisos entre la Arquitectura y la Ingeniería Civil. A pesar de ello, es factible y conveniente, dar criterios arquitectónicos a los Ingenieros y así mismo, criterios estructurales a los arquitectos para diseñar óptimamente en zonas sísmicas.

Aquí llegamos al punto importante, con el trabajo que a continuación se presenta, se pretende dar una serie de recomendaciones básicas, comprensibles por medio de una presentación gráfica (Lenguaje del Arquitecto) y aplicables en nuestro medio para que, el Arquitecto desarrolle su función con un "Criterio estructural para proyectar arquitectónicamente en zonas sísmicas de la República Mexicana".

Es importante aclarar que todos los conceptos que se exponen, están bien fundamentados en estudios tan profundos como lo amerita cada caso y gran parte de ellos han sido estudiados por Científicos, Arquitectos e Ingenieros dedicados a la Ingeniería Sísmica y ramas afines, dando en cada caso los créditos correspondientes. Se hace solo mención de dichos fundamentos, indicando dónde pueden ser estudiados más ampliamente ya que, la mayoría de ellos, implica un estudio específico.

La presentación de la tesis está estructurada en cuatro partes: La primera parte comprende los conceptos básicos de Geología, Física, Resistencia de materiales y Análisis Estructural que resultan antecedentes indispensables para la comprensión de las siguientes partes.

La segunda parte contiene métodos y procedimientos de cálculo y análisis estructural para determinar el comportamiento de una estructura ante un sismo, así como la forma de determinar los parámetros básicos para dicho análisis como son los espectros de respuesta, coeficientes sísmicos, etc.. Esta parte es interesante y conveniente más no indispensable para entender la tercera parte.

La tercera parte es el eje central de la tesis dado que, en ésta, se dan las recomendaciones para proyectar Arquitectónicamente, desde el punto de vista sísmico.

La cuarta y última parte contiene los apéndices que apoyan al resto de la tesis, así como las conclusiones más importantes que se desprenden a lo largo de todo el trabajo.

**NOTAS A LA INTRODUCCION:**

- (1) ROJAS, SALOMON, p.p. 269-317, op. cit.
- (2) OROZCO Y BERRA, J, op. cit.



**I**

**CAPITULO**



## I.- ANTECEDENTES SISMOLÓGICOS.

### 1.1.- INTRODUCCION.

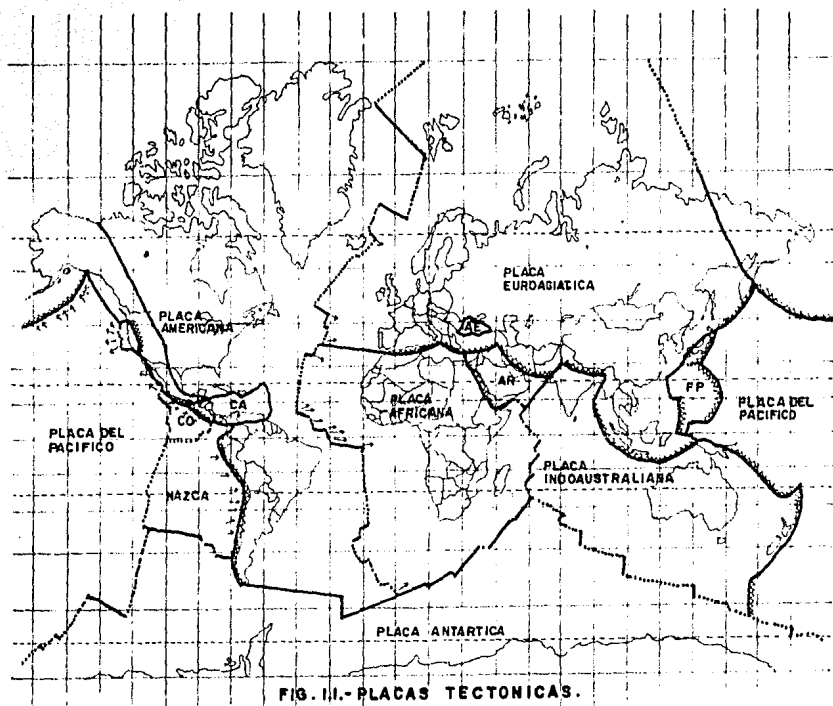
La sismología es una pequeña parte de la rama Geofísica de la Geología; su estudio requiere de toda una especialización, pues de hecho, muchas de las teorías que se han desarrollado en este campo, aún siguen sufriendo cambios. Explicar con certeza el origen, generación y propagación de un sismo resultaría sumamente complicado, implica conocimientos matemáticos, geológicos, y físicos profundos, sin embargo, el presente capítulo contiene los antecedentes sismológicos mínimos indispensables para entender claramente la génesis de los sismos que interesan a la Ingeniería, es decir, los de origen tectónico, de ninguna forma se profundiza más allá de éstos límites dado que, no es éste nuestro tema central. Si el lector desea profundizar alguna parte de éste capítulo al final de él se da la bibliografía necesaria para tal objeto.

### 1.2.- ORIGEN DE LOS SISMOS.

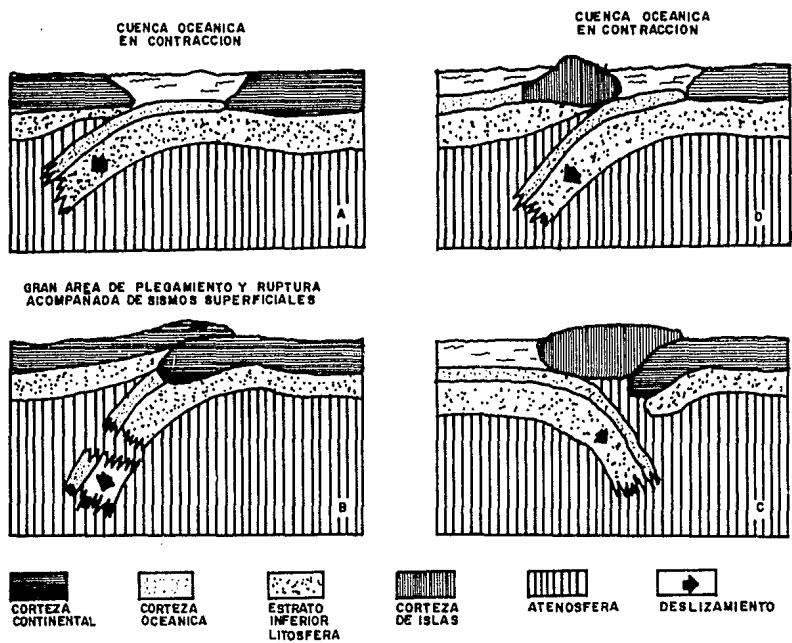
Si denominamos como Sismo a un movimiento telúrico, pueden ser muchos los fenómenos que los ocasionan: La actividad volcánica, las explosiones, el colapso de bóvedas de cavernas, etc. Sin embargo, los sismos más importantes desde el punto de vista de la Ingeniería Sísmica son los de origen tectónico, es decir, los asociados con deformaciones a gran escala en la corteza de la tierra. Esto es debido a la frecuencia con que ocurren, a la gran energía que liberan y a la extensión tan grande de las áreas que afectan.

Uno de los modelos teóricos más estudiados por los sismólogos y que explica más o menos claramente los movimientos de la corteza terrestre es el de la "Tectónica de placas" (1). Esta teoría se basa en que la corteza terrestre se encuentra dividida en seis placas principales -- (Fig.1.1): Placa del Pacífico, Placa Americana, Placa Africana, Placa Euroasiática, Placa Indio Australiana y Placa Antártica; y seis placas menores: Nazca, Cocos, Caribe, Egeo, Arábiga y -- Filipina.

De acuerdo a la unión entre las placas mencionadas, pueden presentarse movimientos Divergentes, Convergentes o de Transformación. (Fig.1.1). Se llama movimiento divergente al ocurrido entre dos placas que se separan entre sí; movimientos de transformación es el ocurrido entre dos placas que se deslizan paralelas y en sentidos contrarios, como en el caso de la llamada falla de San Andrés en California y movimiento convergente es el ocurrido entre dos placas que chocan. En éste último tipo de movimiento ocurre el fenómeno de Subducción es decir, cuando una placa se introduce bajo otra y precisamente éste es el origen de los principales sismos de la República Mexicana (Fig.1.2.)



El principal origen de los sismos en la República Mexicana es la Subducción de la Placa de Cocos en la Placa Americana.-  
 En la figura se indica con una flecha la dirección del movimiento de las placas. (Mapa cortesía del Dr. Salomón Rojas --  
 Acv:11)



**FIG. 1.2.- FENOMENO DE SUBDUCCION.**

La figura muestra distintos fenómenos de Subducción: A) Contracción de una cuenca oceánica hasta formar plegamientos como se muestra en B; D) El choque con un arco de islas puede ocasionar la inversión del movimiento de placas como se muestra en C.- (Esquemas cortesía del Dr. Salomón Rojas Aceval).

Al producirse la tendencia al movimiento entre las placas, debido a la fricción entre ellas, se va acumulando gradualmente energía que al ser liberada repentinamente ocasiona ondas que se transmiten a lo largo de la corteza terrestre y a ellas se asocian directamente los terremotos. A esta energía se le llama Potencial.

Para aclarar esta idea puede realizarse un sencillo experimento: Imagine el lector que coloca dos losas de concreto de 100 x 50 x 5 cm en la posición que muestra la figura 1.3. a y cuyo acabado sea el de una superficie rugosa, digamos como el de un aplanado rostreado. -- Imagine también que una de ellas, a la que llamaremos A, la empotramos a un muro y la otra, o sea la losa B, la soportamos sobre una superficie lisa que nos permita despreciar la fricción, por ejemplo, sobre una lámina lisa. Empotre a la losa A un resorte de 15 cm de altura que en el extremo soporte un balín o cualquier elemento pesado de tal forma que se haga un péndulo invertido, así mismo, empotre un balde lleno de agua. Ahora bien. inicie el experimento, empujando con un solo dedo, a la losa B, en la dirección que se indica. Podrá notar que no causa ningún efecto sobre los elementos del experimento, sin embargo, se está ejerciendo una fuerza de más o menos 1 kg. Vaya aumentando gradualmente la fuerza hasta conseguir introducir la placa B bajo la placa A.

En el instante en el que logra mover la placa B se está liberando la energía que ha acumulado al aumentar gradualmente la fuerza de empuje. Notará movimiento vibratorio en el resorte y también ondulaciones en la superficie del agua contenida en el balde. Es decir que la energía liberada, indujo vibraciones a la placa A y ésta a su vez, a los elementos que soporta, como se vé en la figura 1.3 b.

La placa B subyace a la placa A por tanto, el fenómeno generado es de subducción. Puede decirse que el mismo fenómeno se sucede entre la placa de Cocos que subyace a la placa Americana en la Zona de subducción de la República Mexicana (1).

En resumen, los movimientos telúricos resultan de la liberación repentina de la energía de deformación acumulada en el manto o en un lecho rocoso dentro de la corteza.

### 1.3.- FOCO, MAGNITUD E INTENSIDAD.

La zona de ruptura de las placas que generan un sismo, aunque suele tener varios kilómetros tanto de ancho como de largo, (2) puede considerarse como un punto si la relacionamos con las dimensiones del globo terraqueo (la corteza continental tiene hasta 60 km de espesor, y el manto llega hasta los 2.880 km de profundidad) (3). A ese punto se le llama Foco, centro



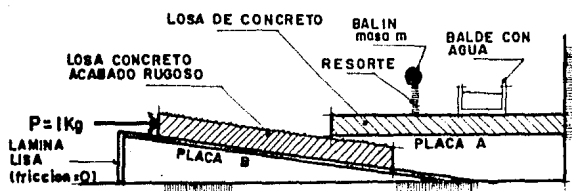


FIG. 1.3 a

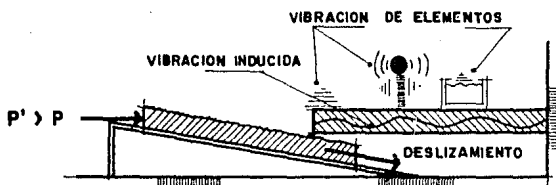


FIG. 1.3 b

### FIG. 1.3.- FENOMENO DE SUBDUCCION

El deslizamiento repentino en el fenómeno de subducción, se produce cuando se libera la Energía potencial acumulada entre dos placas, produciendo ondas vibratorias que se transmiten de la placa a los elementos que soporta.

hipofoco o hipocentro. A la proyección horizontal del foco sobre la superficie de la tierra se le llama epicentro o epifoco. (Fig.1.4.)

Como veremos más adelante, a partir del foco es de donde se generan las ondas sísmicas - que al hacerse patentes en la superficie pueden ser registradas con aparatos que para tal efecto ha creado el ingenio humano (Sismógrafos, Acelerógrafos y Osciloscopios), así mismo pueden llegar a ser sentidas por los animales e incluso por los humanos.

La intensidad de un sismo es la medida de su capacidad destructiva localmente, varía de lugar a lugar así pues, puede tener una intensidad enorme en una ciudad si es que causa catástrofes y al mismo tiempo puede ser de intensidad muy baja o hasta nula si dicha intensidad se mide en un desierto. La escala más común para medir la intensidad de un sismo es la escala de Mercalli Modificada y puede encontrarse en casi cualquier libro de sismología o de Ingeniería Sísmica. (4) Baste tan solo decir que a ella están asociadas intensidades medidas en números enteros del I al XII, siendo un sismo de intensidad I aquel que es percibido solo por aparatos muy sensibles y en el caso extremo, un sismo de intensidad XII es aquel que causa destrucción total en una localidad, grandes masas de roca desplazadas, aperturas de suelo etc.. Es fácil observar que la medida de la intensidad de un sismo es totalmente subjetiva, no así la medida de la Magnitud pues con ésta se dimensiona la Energía liberada, es decir, un sismo tiene una sola magnitud independientemente del lugar donde se haya medido.

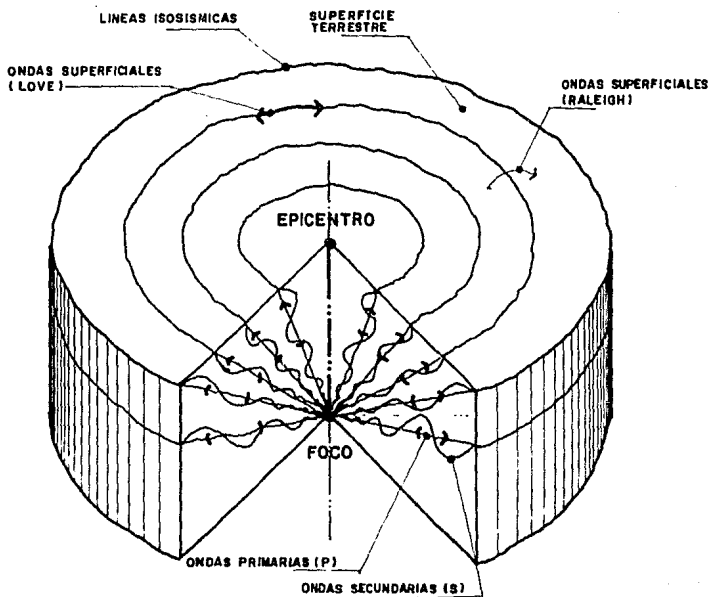
La Magnitud se mide usualmente por medio de la escala de Richter con números reales del 0 al 10 (1.1., 5.4., 8.2...10) de tal forma que un sismo de magnitud 1 es 10 veces menor que uno de magnitud 2.

Existen otras escalas para medir magnitudes sísmicas, como son, la de Gutenberg, cuando las distancias focales son de 600 a 2000km o la escala telesísmica cuando las distancias son mayores a los 2000 km pero, en general, puede decirse que todas ellas se basan en principios similares (5).

#### 1.4.- PROPAGACION DE LOS SISAMOS.

Al liberarse súbitamente la energía acumulada por fricción, en las caras confrontadas de las placas tectónicas, se producen ondas que se transmiten tanto en la superficie terrestre, como en las distintas capas que la subyacen: Corteza, manto y núcleo (Fig.1.5.)

A las ondas que se transmiten desde el foco o hipocentro se les llaman "ondas de cuerpo" ya que se trasladan en el interior de la tierra, es decir, a través del núcleo, manto y corteza terrestres. De éstas hay principalmente dos tipos: Ondas Primarias, también llamadas de --



**FIG. 1.4.- FOCO Y EPICENTRO**

El foco de un sismo es el punto dentro de la corteza terrestre a partir del cual se generan las ondas sísmicas, es decir, donde se produce la ruptura de placas. El epicentro corresponde a la proyección vertical del foco a la superficie terrestre. (Esquema cortesía del Dr. Salomón Rojas Aceval).

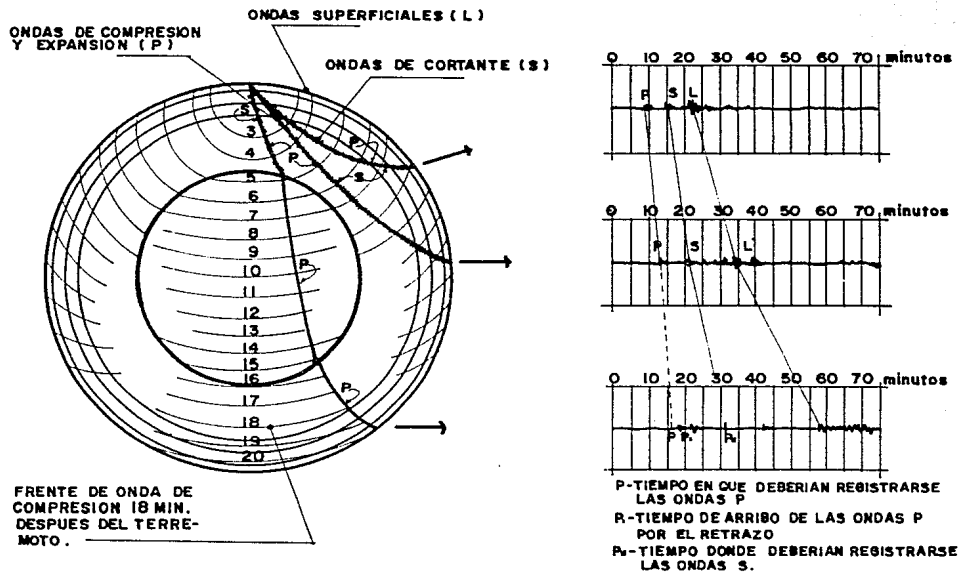


FIG. 1.5.-TRANSMISION DE ONDAS EN EL GLOBO TERRAQUEO.

Posiciones sucesivas del frente de avance de las ondas Sísmicas en el interior de la tierra. Note el efecto de retraso de las ondas P y la anulación de las ondas S al pasar por el Núcleo, debido a su liquidez. (Leet y Judson, p.346, op. cit.).

compresión y comunmente se denominan con la letra P y las Ondas Secundarias llamadas de cortante y denominadas con la letra S.

A las ondas que se transmiten desde el epicentro se les llama "ondas de superficie" pues se trasladan superficialmente, es decir, a través del suelo, suele denominarseles con la letra L y también son llamadas "ondas largas". Son generadas por las ondas P y/o las ondas S.

Tomando de nuevo el ejemplo de la figura 1.3, cuando conseguimos el movimiento relativo entre las placas, podemos notar que el primer movimiento producido en los elementos que soporta la placa A, es una vibración vertical, sobre el resorte, o sea, podrá notarse que el balín sube y baja rápidamente (Fig.1.6.a). Esta vibración es producida por ondas de compresión que se transmiten por la placa A, por lo tanto son la analogía de las ondas P. o primarias. El nombre de "compresión", viene precisamente de que se transmiten por compresión y tensión alternadas.

Casi inmediatamente después comenzará a oscilar el resorte lo cual indica la presencia de ondas S o de cortantes que siempre son más lentas que las primarias. Las ondas S se transmiten perpendiculares a la dirección de las P y de ahí viene su nombre de "cortante". (Fig.1.6)

Por último, casi al mismo tiempo, se notará la generación de ondas sobre la superficie de agua contenida en el balde lo cual indica, que existen ondas superficiales.

Existen muchos otros tipos de ondas; Moho, Rayleigh, Love, etcétera, (5) sin embargo, desde el punto de vista de la Ingeniería Sísmica, las que mencionamos anteriormente son las más importantes pues conociendo sus características, principalmente su tiempo de arribo a las estaciones sísmológicas, puede conocerse con relativa precisión el punto donde fueron generadas, es decir, el foco del sismo (6).

#### 1.5.- APARATOS DE MEDICION SISMICA.

En la actualidad existen gran cantidad de instrumentos para conocer las características de un terremoto, los hay desde construcciones mecánicas sumamente simples hasta aparatos muy complejos, con elementos electrónicos conectados a redes extremadamente sofisticadas de computadoras. A pesar de ello, de acuerdo al principio en que se base su construcción, podemos agruparlos en tres: Osciloscopios, Sismógrafos y Acelerógrafos.

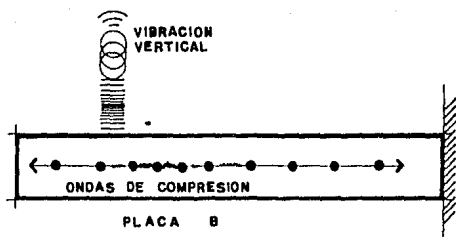


FIG. 1.6a

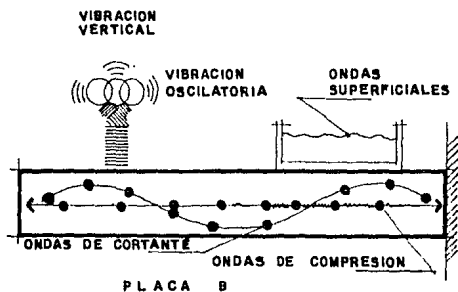


FIG. 1.6b

### FIG.1.6.- ESQUEMA DE TRANSMISION DE ONDAS SIMICAS.

Las ondas de compresión (P) se transmiten en el mismo sentido de su trayectoria por compresión y tensión alternadas (fig. 1.6.a). Las ondas de corte (S) se transmiten en el sentido ---- transversal de las ondas P (fig. 1.6.b). Ambos tipos de ondas producen ondas superficiales.

### 1.5.1.- OSCILOSCOPIO.

También se llama Sismoscopio, es un instrumento que registra el movimiento del suelo en lo que se denomina un Oscilograma. Consta esencialmente de una masa soportada por elementos flexibles y sujeta a un elemento amortiguador (Fig.1.7.). Los más comunes registran el oscilograma mediante un estilote que traza sobre un vidrio ahumado. Su uso en la Ingeniería Sísmica es restringido dado que la deducción de datos a partir de sus registros es compleja y poco precisa.

### 1.5.2.- SISMOGRAFO.

El sismógrafo es un instrumento que registra los desplazamientos del suelo ante la presencia de un sismo, generalmente en tres direcciones; Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical. El registro se hace comunmente mediante plumillas que trazan el arribo de ondas, en papeles que llevan un movimiento continuo en intervalos de 24 hrs. generalmente. A dichos registros se les llama sismogramas (Fig.1.8.)

Su uso es básico pues, a partir de los sismogramas, pueden conocerse los tiempos de arribo de las ondas sísmicas del foco a la estación donde se ubica el sismógrafo y siendo conocidas algunas características de la corteza y el suelo pueden conocerse las distancias focales y con ellas el lugar donde se originó el terremoto. También, conocidas las características del sismógrafo, puede determinarse la magnitud del sismo. (6)

### 1.5.3.- ACELEROGRAFO.

El acelerógrafo, a diferencia del sismógrafo, registra las aceleraciones del suelo en lo que se conoce como Acelerograma. El registro se lleva a cabo de forma similar al sismógrafo, es decir, en tres direcciones ortogonales entre sí: Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical.

Los acelerogramas tienen en cada dirección de registro dos escalas (Fig.1.9.), en la escala vertical se miden las aceleraciones en Gals. siendo un Gal un porcentaje de la aceleración de la gravedad terrestre. En la escala vertical se mide el tiempo casi siempre en segundos.

### 1.6.- ESPECTROS DE RESPUESTA Y COEFICIENTE SISMICO.

La fuerza ejercida sobre un cuerpo por los movimientos sísmicos, dado que éstos inducen aceleraciones, puede determinarse por la segunda ley de Newton (Fig.1.10)

$$F = m.a$$

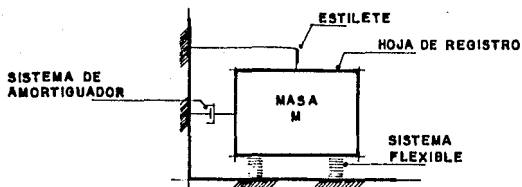


FIG. 1.7 a



FIG. 1.7 b

### FIG. 1.7.- ESQUEMAS DE UN OSCILOSCOPIO Y UN OSCILOGRAMA.

El Osciloscopio o Sismoscopio es un sistema de medición de desplazamientos Sísmicos formado por una masa, un amortiguador y un elemento flexible. El sistema mostrado, no tiene restricción en el sentido horizontal, únicamente la tiene en el sentido vertical del desplazamiento.



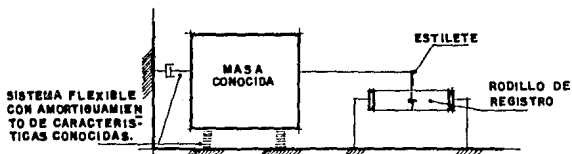


FIG. 1.8 a

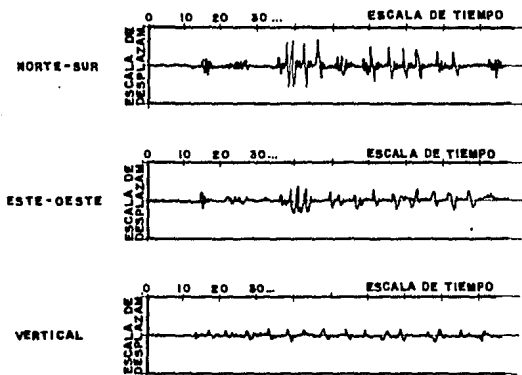
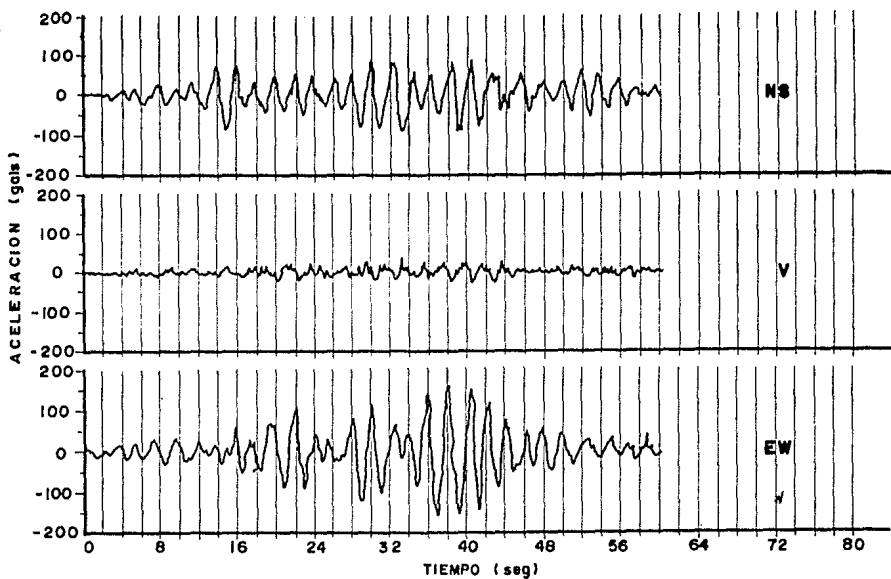


FIG. 1.8 b

### FIG. 1.8.- ESQUEMAS DE UN SISMOGRAFO Y SUS SISMOGRAMAS

El Sismógrafo es un aparato que mide desplazamientos del suelo durante un Sismo, restringiendo la medición a tres direcciones principales, por ejemplo, Norte-Sur, Este-Oeste, Vertical.



**FIG. 1.9. - ACCELEROGRAMA.**

El Acelerograma es la representación gráfica de las aceleraciones que sufre el suelo durante un sismo. La figura muestra el acelerograma correspondiente al Sismo del 19 de Septiembre de 1985, en el centro SCOP de la Cd. de México.

En esta expresión "F" es la fuerza que produce una aceleración "a" a un cuerpo de masa "m". Puesto que la masa de un cuerpo es igual a su peso "W", dividido entre la aceleración de la gravedad "g", que es aproximadamente igual a  $9.8 \text{ m/s}^2$ , la ecuación de Newton puede expresarse como:

$$F = \frac{W}{g} a$$

A la relación "a/g" se le llama COEFICIENTE SISMICO. La fuerza ejercida por un sismo sobre un cuerpo de peso "W", puede entonces calcularse simplemente multiplicando el peso por el coeficiente sísmico, es decir:

$$F = WC$$

Por ejemplo, si la aceleración del suelo en un sismo es de  $0.98 \text{ m/s}^2$ , el coeficiente sísmico será:

$$C = \frac{a}{g} = \frac{0.98 \text{ m/s}^2}{9.8 \text{ m/s}^2} = 0.1$$

En éste caso, la fuerza ejercida sobre un cuerpo que pese 1000 kg. será de:

$$F = WC = 1000 \text{ kg} \times 0.1 = 100 \text{ kg}$$

Esto será cierto si consideramos únicamente la masa del cuerpo, despreciando los efectos de amortiguamiento y rigidez del cuerpo, cosa que no sucede realmente en las estructuras, como se verá en los siguientes capítulos.

EL ESPECTRO DE RESPUESTA de un sismo, es la representación gráfica de las aceleraciones máximas que sufre el suelo, bajo distintas condiciones de amortiguamiento, es decir, en el eje horizontal se grafican los períodos de oscilación y en el eje vertical, las aceleraciones (Fig.1.11). Se obtiene directamente del acelerograma del sismo, para distintos casos de porcentajes del amortiguamiento crítico del aparato (7), siendo éste el correspondiente al estado de resonancia.

Una vez obtenidos una serie de espectros de respuesta, puede calcularse el ESPECTRO DE DISEÑO que corresponde a la envolvente de los espectros mencionados (Fig.1.12). De éste espectro de diseño es de donde se obtienen las aceleraciones o coeficientes sísmicos para calcular las fuerzas que actuarán en la estructura, como se verá en el capítulo siguiente.



FIG. 1.10.- 2ª LEY DE NEWTON.

La segunda ley de Newton encierra la esencia del estudio de la Dinámica de estructuras, de ésta se deducen las fórmulas para conocer el comportamiento de las estructuras sujetas a -- fuerzas Sísmicas.

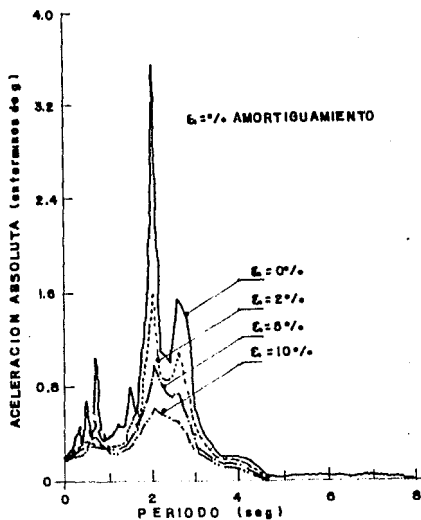


FIG. 1.11.- ESPECTRO DE RESPUESTA.

Espectro de respuesta correspondiente al acelerograma de la fig. 1.9. Note que para el período de 2 seg. se producen las aceleraciones máximas de los Sistemas graficados.

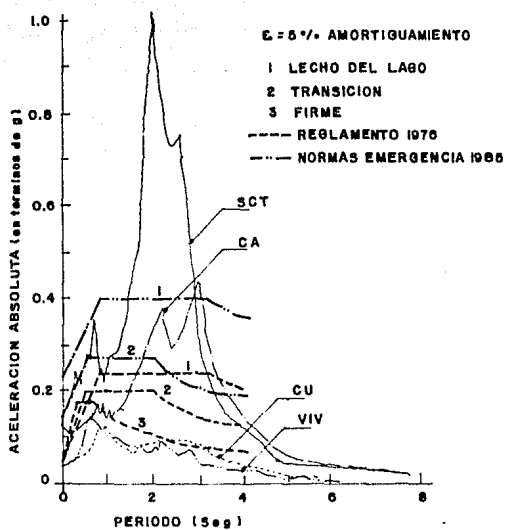


FIG. 1.12.- ESPECTROS DE DISEÑO.

La figura muestra los distintos espectros de Diseño del Reglamento para construcciones del D.F. de 1976, de las normas de Emergencia de 1985 del mismo Reglamento y los compara con los espectros de respuesta para una estructura con porcentaje de amortiguamiento del 5% en el centro SCOP, la Central de Abastos, Ciudad Universitaria y los Viveros de Coyoacán, del D.F. (Revista IMCYC, Vol. 8, Mayo 1986).

## REFERENCIAS DEL CAPITULO I.

- (1) Referencia 81, p.p. 11-36, op. cit.
- (2) Referencia 81, páj. 63, op. cit.
- (3) Referencia 42, páj. 348, op. cit.
- (4) Referencia 70, p.p. 623-624, op. cit.
- (5) Referencia 78, p.p. 243-246, op. cit.
- (6) Referencia 78, p.p. 241-332, op. cit.
- (7) Referencia 23, P.p. 216-218, op. cit.

**CAPITULO**

**II**



## II.- ANTECEDENTES MECANICOS DE LAS ESTRUCTURAS.

### 2.1.- INTRODUCCION

Como se mencionó al principio de este libro, no se pretende dar aquí, conocimientos profundos sobre análisis y diseño estructural pues ello implica todo un tratado que sale de nuestro contexto. Sin embargo, es conveniente definir algunos conceptos que atañen al comportamiento de las estructuras, ya que se utilizan con relativa frecuencia a lo largo de todos los capítulos siguientes y que, si son manejados con facilidad, pueden darnos cierta sensibilidad para entender dicho comportamiento y así mismo, una concepción más clara de conceptos globales o genéricos.

Debe aclararse que, de la misma forma que en todos los capítulos, los conceptos aquí expuestos están bien fundamentados, citando en cada caso las fuentes necesarias para que, el lector, pueda profundizarlos de acuerdo a su conveniencia.

### 2.2.- DEFINICIONES BASICAS.

#### 2.1.1.- OSCILACION.

Se llama oscilación (1) o vibración completa al movimiento que efectúa un péndulo desde que inicia el desplazamiento, hasta que regresa al mismo punto. En la figura 2.1 se muestra la oscilación que va del punto O, pasa por A, llega a B y regresa a O.

#### 2.2.2.- PERIODO, FRECUENCIA, AMPLITUD Y CENTRO DE EQUILIBRIO.

El período (2) se designa generalmente con la letra T y es el tiempo necesario para que el péndulo realice una oscilación completa. Generalmente, el período, se da en unidades de segundos.

La frecuencia (2) es el recíproco del período, es decir,  $f = 1/T$ , el número de oscilaciones que tienen lugar en 1 unidad de tiempo. Se mide generalmente en hertz, siendo 1 hz= 1 ciclo por segundo (3)..

La Amplitud (2) del movimiento de un péndulo, es la distancia máxima que alcanza éste, en media oscilación, como se muestra en la figura 2.1. Se mide generalmente en centímetros.

El Centro de Equilibrio (1) o eje de equilibrio es el eje en el cual el péndulo se encuentra en reposo, por lo tanto, puede también definirse como el punto con velocidad y desplazamiento, iguales a cero.



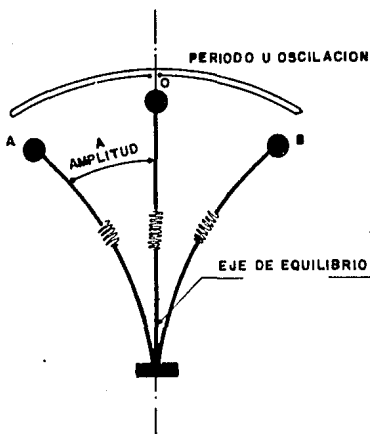


FIG. 2.1a

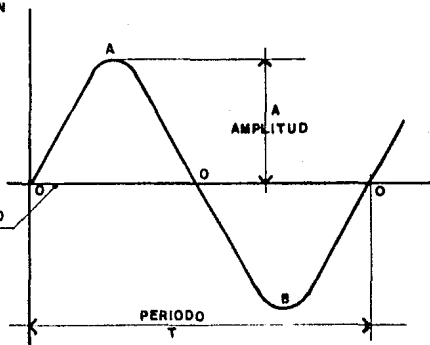


FIG. 2.1b

FIG. 2.1.- PERIODO, OSCILACION Y AMPLITUD.

Las principales características del movimiento de un péndulo son su oscilación, el período y la amplitud.- En la figura se muestra una oscilación completa; es el movimiento realizado desde que inicia en el punto O ó centro de equilibrio, llega al punto A, pasa por el punto B y regresa al punto O; el tiempo que tarda en realizar éste movimiento, se llama período  $T$ ; la amplitud es el máximo desplazamiento que alcanza el péndulo en media oscilación.

### 2.2.3.- MASA, PESO Y GRAVEDAD. (4)

La mayoría de los Textos de Física, definen a la masa como la cantidad de materia de un cuerpo. Esta definición puede aclararse, si pensamos que un cuerpo tendrá más masa, en tanto sea más difícil cambiarlo de su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme original. Por ejemplo, una pelota de Ping Pong tendrá menos masa que una Bola de Boliche dado que, la fuerza necesaria para cambiar el estado original de la segunda, será mayor que la necesaria para cambiar el estado original de la primera. Si trabajamos en un Sistema Gravitacional de Unidades, la masa tendrá  $\text{kg. S}^2/\text{m}$ .

El peso es la fuerza con que es atraída la masa de un cuerpo por la gravedad terrestre, por lo tanto, sus unidades son las de Fuerza, es decir, Kg o Ton generalmente. Dado que la gravedad terrestre es una aceleración constante, en el caso de la cd. de México igual a  $9.8 \text{ m/S}^2$ , es común hablar de Masa y Peso como sinónimo para algunos conceptos, sin embargo, al calcular, debe tenerse siempre presente que son dos conceptos que aunque estén relacionados, son distintos.

En resumen, la masa es la resistencia del cuerpo a cambiar su estado original; el Peso es una fuerza, de atracción y; la Gravedad es una aceleración. (Fig.2.2)

### 2.2.4.- ENERGIA.

La Energía puede definirse como un fenómeno físico capaz de producir un trabajo. Como se vió en el capítulo anterior, el caso del origen de los sismos, es de Energía Potencial, (5) es decir, energía que se libera súbitamente después de un período de acumulación.

### 2.2.5.- INERCIA. (4)

La inercia de un cuerpo es un concepto relacionado íntimamente con su masa. Puede decirse que es la resistencia del cuerpo a cambiar su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme, es decir, si el cuerpo está en reposo, será la medida de su resistencia a ser movido, por el contrario, si el cuerpo está en movimiento, será la medida de la resistencia a ser detenido. (Fig.2.2)

### 2.3.- FUERZA Y ESFUERZO (6).

Es común que se confundan los conceptos de fuerza y esfuerzo ya que están íntimamente relacionados y en algunos casos se pueden expresar como sinónimos, sin embargo, son conceptos diferentes.

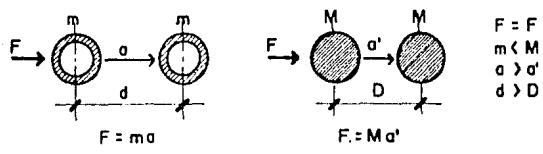


FIG. 2.2 a.- MASA E INERCIA.

La inercia de un cuerpo es la resistencia de éste a cambiar su estado de movimiento rectilíneo uniforme o de reposo. En la figura se enfatiza que aplicando la misma fuerza a dos cuerpos de distinta masa, las aceleraciones producidas serán también distintas y por lo tanto también lo serán sus desplazamientos.

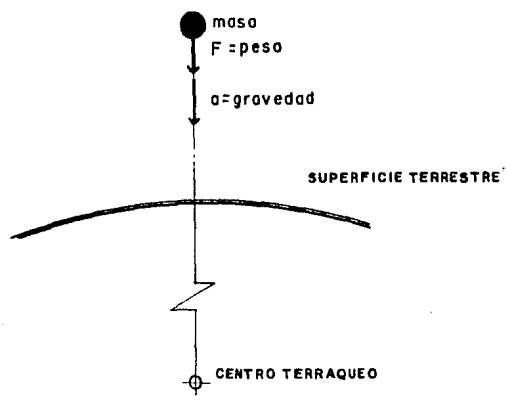


FIG. 2.2 b.- MASA, PESO Y GRAVEDAD.

FIG. 2.2.- CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS CUERPOS.

El peso de un cuerpo es igual a la fuerza de atracción hacia el centro de la tierra, debida a la aceleración de la gravedad. La masa es la cantidad de materia del cuerpo, el peso es una fuerza y la gravedad es una aceleración.

Una fuerza, puede definirse como cualquier fenómeno físico capaz de producir cambios en un cuerpo: Movimiento, tensión, compresión, torsión, etc.. A diferencia de ésta, el esfuerzo es la resistencia interna que presenta un cuerpo sujeto a una Fuerza externa, o sea, es una fuerza por unidad de área. (Fig.2.3.)

Las unidades de Fuerza varían de acuerdo al sistema utilizado (4), las más comunes son: Kg, Ton, L b ó Kip (kilogramo, Tonelada métrica, libra ó tonelada inglesa. Las unidades de eg fuerzo más comunes son: kg/cm<sup>2</sup>, Ton/m<sup>2</sup>, lb/pg<sup>2</sup> y lb/ft<sup>2</sup> (kilogramo por centímetro cuadrado, tonelada por metro cuadrado, libra por pulgada cuadrada y libra por pié cuadrado).

Los tipos de fuerza que soporta una estructura, pueden ser los siguientes: (7)

- a) FUERZAS GRAVITACIONALES.- Son las debidas al propio peso de la estructura más las cargas vivas que soporta, es decir a las relacionadas directamente con la atracción de la gravedad.
- b) FUERZAS ACCIDENTALES.- Son las debidas principalmente a condiciones climatológicas como lluvia, viento, nieve, etc.; a condiciones geológicas como los sismos y; a efectos externos como explosivos, vibración de maquinarias, etc. (Fig.2.4)

Generalmente se utiliza la notación W para referirse a fuerzas gravitacionales o peso y la letra F ó P, para referirse a cualquier otro tipo de fuerza.

De acuerdo a los efectos que causan las fuerzas, éstas pueden ser: (8)

- c) FUERZA CORTANTE.- Es la fuerza que actúa perpendicularmente al eje longitudinal de un elemento. Generalmente se denomina con la letra V.
- d) FUERZA NORMAL.- Es la fuerza que actúa paralelamente al eje longitudinal de un elemento. Generalmente se denomina con las letras N, P ó F (Fig.2.5)

Estas últimas pueden ser de tensión si tienden a largar el elemento sobre el cual actúan, o de compresión si lo tienden a acortar.

#### 2.4.- MOMENTO (7)

Puede definirse a un Momento como la tendencia que tiene una fuerza a causar un giro o rotación alrededor de un centro o eje. Un ejemplo claro de momento, se ve cuando se aplica una fuerza determinada a una llave de tuercas para apretar un tornillo (Fig.2.6.).

Si usted , realiza ésta prueba sobre una llave de 30 cm de largo, "d", como la mostrada en la figura, y aplica una fuerza, "F" de 10 kg, estará ejerciendo un Momento, "M" de -- 10 x 30 kg.cm. En otras palabras, la magnitud del momento será igual al producto de la fuerza por la distancia de ésta al centro de giro, es decir:

$$M = F.d$$

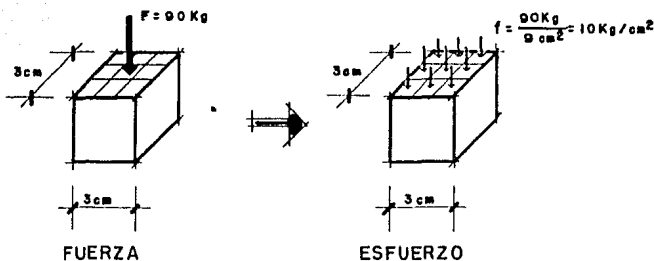


FIG. 2.3.- FUERZA Y ESFUERZO.

La figura muestra la diferencia entre fuerza y esfuerzo. El esfuerzo es una fuerza por unidad de área.

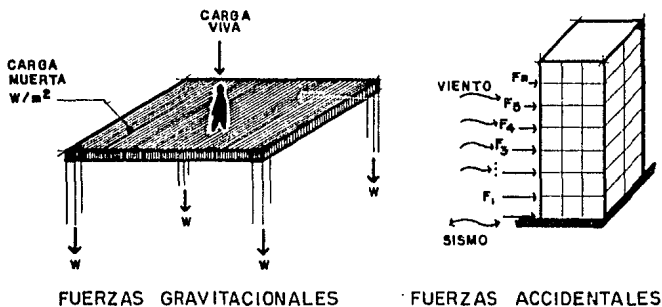
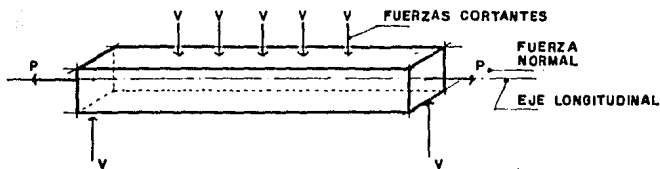


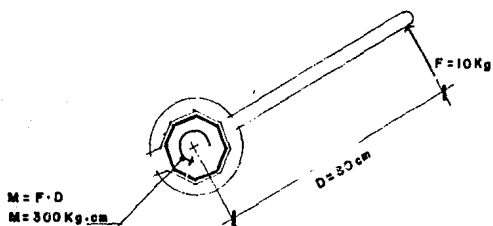
FIG. 2.4.- FUERZAS GRAVITACIONALES Y FUERZAS ACCIDENTALES.

Todas las edificaciones en Zonas Sísmicas deben ser calculadas para soportar cargas gravitacionales (Vivas y muertas) y Cargas accidentales debidas a aceleraciones del suelo durante un sismo.



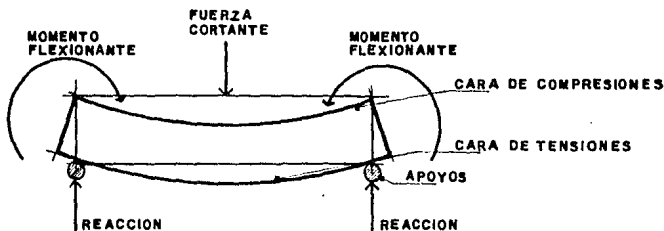
**FIG. 2.5.- FUERZAS CORTANTES Y NORMALES.**

Las fuerzas cortantes son las que actúan perpendiculares al eje longitudinal de un elemento, las fuerzas normales actúan paralelas a él.



**FIG. 2.6.- MOMENTO.**

El momento de una fuerza respecto a un punto es igual a la magnitud de ésta multiplicada por su distancia más corta al centro de giro.



**FIG. 2.7.- MOMENTO FLEXIONANTE.**

El momento flexionante en una viga causa a ella fuerzas de tensión en una cara y de -- compresión en la cara opuesta

En las estructuras pueden ejercerse dos tipos de momentos: Momento flexional y Momento de Torsión.

#### 2.4.1.- MOMENTO FLEXIONANTE Y TORSIONANTE (8)

Se llama Momento Flexionante al que se aplica perpendicularmente al eje longitudinal de una sección (Fig.2.7), produciéndole precisamente flexión, de ahí su nombre.

Como puede verse en la figura, en una pieza trabajando a flexión, en una parte de ella, se producen tensiones, mientras que en la otra, se producen compresiones. Al eje en el que los esfuerzos se anulan, se le llama EJE NEUTRO y coincide generalmente con el centro de área de la sección transversal, siempre y cuando la sección sea homogénea.

El Momento Torsionante es el que se aplica paralelamente al eje longitudinal de una sección (Fig.2.8), produciéndole, como lo indica el nombre, torsión.

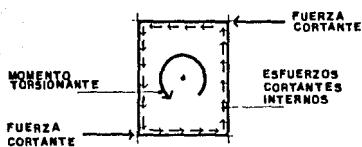
El efecto que produce la torsión, es el de fuerzas cortantes paralelas a las caras de la sección (Fig.2.8) y en el mismo sentido del giro producido. Al punto, alrededor del cual gira el momento, se le llama CENTRO DE GIRO y como se verá más adelante, coincide con el centro de Rigideces de la sección o generalmente hablando, de la estructura a la cual se aplica dicho Momento.

#### 2.5.- CARACTERISTICAS MECANICO-GEOMETRICAS.

##### 2.5.1.- CENTRO DE GRAVEDAD, CENTRO DE AREA Y CENTRO DE MASAS. (9)

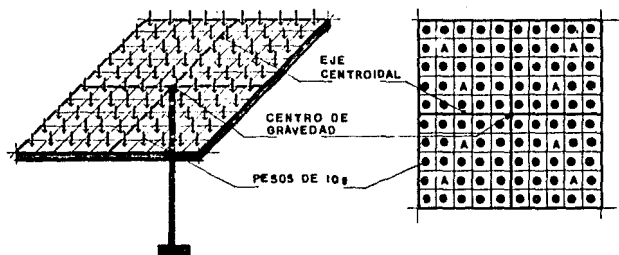
Suponga, que coloca una tabla de, digamos, 1 m x 1 m x 2.5 cm, sobre una varilla, como muestra la figura 2.9, de tal forma que se mantenga en equilibrio. Imagine entonces que dividimos la superficie de la tabla en 100 cuadros idénticos y sobre cada cuadro colocamos un peso de 10 gramos, sin cambiar la posición original de la varilla. Notará que cuando pretende cambiar de posición a la varilla, se pierde el equilibrio en el sistema. Puede, sin embargo, quitar pesos en forma simétrica, por ejemplo, los marcados con la letra A, sin que se pierda el equilibrio.

Al punto donde se localiza la varilla, marcado con la letra O, se le llama CENTRO DE GRAVEDAD. En otras palabras, el centro de gravedad de un cuerpo es el punto en el que todo el sistema de fuerzas, debidas a la atracción de la gravedad, puede contrarrestarse con una sola fuerza, de la misma magnitud que la suma de todo el sistema y de sentido contrario a él, dejando al sistema original en equilibrio.



**FIG. 2.8.- MOMENTO TORSIONANTE.**

El momento torsionante aplicado a un elemento, le ocasiona fuerzas cortantes en las caras exteriores.



**FIG. 2.9a**

**FIG. 2.9b**

**FIG. 2.9.- CENTRO DE GRAVEDAD.**

El centro de gravedad de un cuerpo es el punto en el cual podría aplicarse una sola fuerza, de la misma magnitud que la suma total del peso propio del elemento, pero - de sentido contrario, de tal manera que el cuerpo se mantenga en equilibrio.



Si el cuerpo del que hablamos, es homogéneo, es decir, formado todo por el mismo material, el centro de gravedad, coincide exactamente con el CENTRO DE AREA, lo cual es una suposición que se hace generalmente en todas las estructuras, para simplificar los cálculos.

Dado que, como vimos en los párrafos anteriores, la masa y el peso pueden expresarse, uno en función del otro, el CENTRO DE MASAS, corresponde con el centro de gravedad. La diferencia está únicamente en que se trabaja con las masas del o los cuerpos en lugar de trabajar con los pesos.

#### 2.5.2.- MOMENTO DE INERCIA. (10)

En capítulos anteriores, vimos lo que era un Momento y así mismo, el significado de la -- inercia. Asociando estas dos definiciones, podemos decir que el MOMENTO DE INERCIA de un cuerpo es la medida de la resistencia que tiene éste, a ser girado. (Fig.2.10)

Su obtención requiere, en cuerpos de geometría compleja, conocimientos de cálculo Integral y diferencial, sin embargo, para cuerpos con geometría uniforme, existen fórmulas casi en cualquier texto de Mecánica de materiales o temas afines y cuya aplicación es relativamente sencilla.

#### 2.5.3.- PUNTO DE FLUENCIA Y MODULO ELASTICO. (11)

Suponga que emotra horizontalmente una varilla de  $1/2''$  de diámetro, con una longitud de -- un metro, a un muro, como muestra la figura 2.11. En seguida le cuelga un peso de 1 kg y mide la deformación que sufre la varilla respecto a la horizontal. Verá que dicha deformación es -- quizá de 1 cm, si aumenta el peso a 2 kg, podrá ver que la deformación se incrementa a 2 cm. -- Si continúa aumentando la fuerza, podrá notar que, hasta cierta carga, la deformación es proporcional a la fuerza, y llegará un momento en el que, sin necesidad de aumentar la fuerza, la deformación aumenta considerablemente. Cuando esto suceda, la varilla habrá llegado a su PUNTO DE FLUENCIA.

El acero, como la mayoría de los materiales utilizados en construcción, trabajan en una -- etapa ELASTICA, cuando la deformación es proporcionalmente lineal a la carga aplicada y en una etapa PLASTICA, cuando la deformación no es proporcional a la carga.

El MODULO DE ELASTICIDAD o módulo elástico de un material, es la medida de su grado de rigidez. En otras palabras, el módulo elástico de un material, es el cociente de la división del esfuerzo unitario entre la deformación unitaria. Si E es el módulo elástico, f el esfuerzo unitario, y S la deformación, tendremos:

$$E = \frac{f}{S}$$

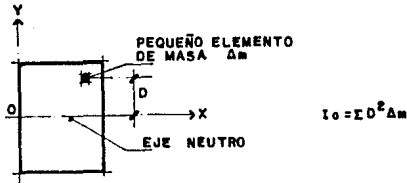


FIG. 2.10.- MOMENTO DE INERCIA.

El momento de inercia de una sección es la medida de su resistencia a ser girado. Esta medida nos dá idea de la distribución de masas en la sección.

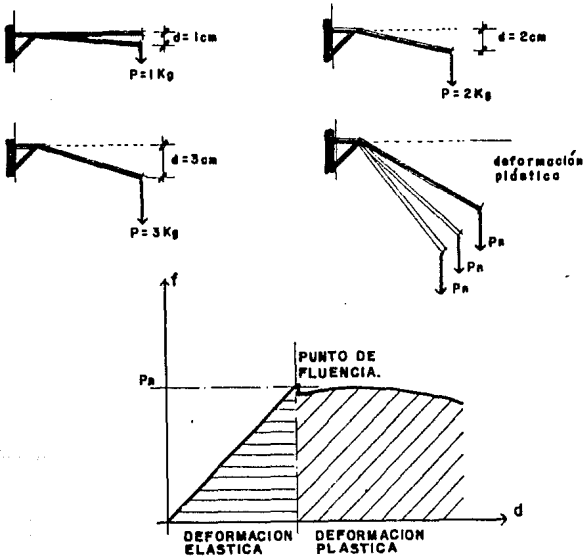


FIG. 2.11.- PUNTO DE FLUENCIA.

El punto de fluencia de un material nos marca la separación entre su deformación elástica y su deformación plástica. Durante el comportamiento elástico del material, la fuerza es proporcional a la deformación, el ejemplo muestra esto en las tres primeras figuras. En la etapa de comportamiento plástico, la deformación puede aumentar aún sin incrementar la fuerza.

Por ejemplo, el acero puede tener un módulo de elasticidad  $E = 2'100,000 \text{ Kg/cm}^2$  mientras que la madera puede tener módulos elásticos del orden de  $E = 90,000 \text{ Kg/cm}^2$  o en el concreto -- del orden de  $E = 200,000 \text{ Kg/cm}^2$ .

#### 2.5.4.- RIGIDEZ.

Suponga ahora que empotra al piso, tres varillas de acero y un redondo de madera, como se ve en la fig. 2.12; la primera de 10 cm de longitud y 1/2" de diámetro; la segunda del mismo diámetro pero de 50 cm; la tercera de 1" y de 50 cm de diámetro y; el último de 50 cm de largo y un diámetro de 1". Si intenta doblar las varillas, cada una por separado, notará que la primera varilla requiere una fuerza muy grande para ser doblada, la segunda requiere una fuerza -- considerablemente menor aunque ambas son del mismo diámetro, es decir, la primera varilla es -- más RIGIDA que la segunda, por lo tanto, podemos deducir que la rigidez está en función de la longitud del elemento. Si ahora intenta doblar la tercera varilla, o sea, la de la misma longitud que la segunda, pero de mayor diámetro, podrá notar que también se requiere una fuerza bastante mayor para conseguir la deformación. Podemos entonces hacer una segunda deducción; La rigidez está también en función de la geometría de la sección. Por último, doble el redondo de madera y notará que, seguramente podrá romperlo antes de conseguir una gran deformación, lo -- cual es lógico dado que el acero es un material Elasto-plástico, mientras que la madera es -- esencialmente elástica. Podemos deducir entonces que la rigidez es también función del módulo de elasticidad del material.

En resumen, podemos definir a la RIGIDEZ, como la capacidad de una sección cualquiera, para ser deformada. Si la deformación es debida a un giro, se llamará RIGIDEZ ANGULAR, si ésta -- es debida a un desplazamiento lineal, se llamará RIGIDEZ LINEAL. Y en general, la rigidez estará en función de la geometría de la sección, de la longitud del elemento, del módulo elástico del material que forma al elemento y de sus tipos de apoyo. (12)

#### 2.5.5.- CENTRO DE RIGIDECES.

Imagine un modelo, como el mostrado en la figura 2.13, formado por un elemento rígido, -- (A) y un elemento flexible (B) como partes portantes y otro elemento rígido (C) como masa soportada. Si usted ejerce una fuerza, por ejemplo de 1 kg, en el extremo B de la masa C, notará un movimiento oscilatorio alrededor del punto A, es decir, alrededor del punto donde se concentra la mayor Rigidez. A éste punto podemos llamarle CENTRO DE RIGIDECES. Su obtención es similar al cálculo del centro de gravedad y se verá en el siguiente capítulo.

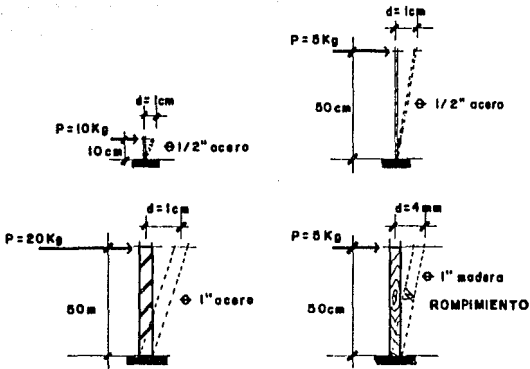


FIG. 2.12.- RIGIDEZ

La rigidez de un elemento depende de: Su relación entre la longitud y la geometría de la sección transversal; el tipo de material, o sea de su módulo elástico; y de los tipos de apoyo del elemento.

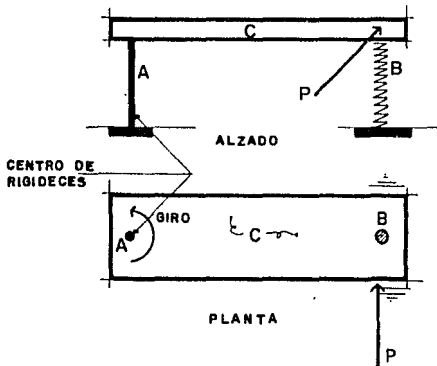


FIG. 2.13.- CENTRO DE RIGIDECES.

El centro de rigidez de un elemento es el punto donde se concentran sus mayores rigideces y alrededor de él gira el cuerpo cuando se somete a fuerzas extrañas que rompan su equilibrio.

## REFERENCIAS DEL CAPITULO II.

- ( 1) Referencia 84, pág. 204, op. cit.
- ( 2) Referencia 84, p.p. 371-381, op. cit.
- ( 3) Referencia 32, pág. 464. op. cit.
- ( 4) Referencia 34, p.p. 4-18. op. cit.
- ( 5) Referencia 84, p.p. 129-131, op. cit.
- ( 6) Referencia 56, p.p. 21-36, op. cit.
- ( 7) Referencia 7, p.p. 25\_40, op. cit.
- ( 8) Referencia 65, op. cit.
- ( 9) Referencia 87, op. cit.
- (10) Referencia 56, p.p. 103-130, op. cit.
- (11) Referencia 56, p.p. 83 - 94, op. cit.
- (12) Referencia 23, pág. 22, op. cit.



**III**

**≡ CAPITULO**

### III.- ANTECEDENTES ESTRUCTURALES.

#### 3.1.- INTRODUCCION.

Al desarrollar un Proyecto Arquitectónico, desde su concepción inicial, hasta la elaboración de los Planos Ejecutivos, deben tenerse en cuenta todos los factores que en él puedan intervenir: El contexto Arquitectónico de la zona en la que se pretende proyectar, -- conceptos Antropométricos, distribución de áreas y espacios, funcionalidad, procedimientos constructivos apropiados, Reglamentos de Construcción de la Zona, Economía y Sociología de los destinatarios del proyecto, etc...

Uno de estos factores, quizá de los más importantes, es la solución Estructural del Proyecto. Para dar una buena solución estructural, es necesario conocer las diferentes formas y tipos de estructuras, los elementos que pueden componerla y la manera como trabajan, aunque ciertamente, no es indispensable ser un perito en materia de cálculo. Basta tan solo tener un buen criterio. En otras palabras, el cálculo es la rutina, lo que importa fundamentalmente es la comunión del Proyecto Arquitectónico y el Proyecto Estructural; la elección adecuada de los tipos de techos, pisos, muros, así como la separación entre ejes de columnas y su colocación, los tipos de cimentación etc..

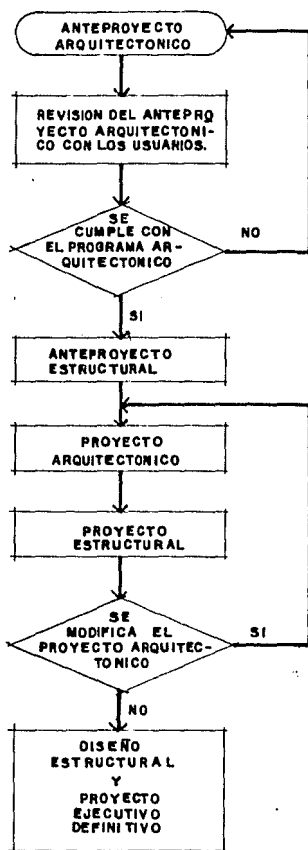
En este capítulo se dan los antecedentes básicos para el Diseño Estructural, principalmente enfocados a Edificios Urbanos, de una forma conceptual, es decir, sin entrar en materia de cálculo, con el objetivo de sensibilizar al proyectista sobre el comportamiento de las Estructuras, ahondando en lo que respecta a su comportamiento Sísmico.

#### 3.2.- METODOLOGIA DEL DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA.

El inicio del Diseño Estructural de un Edificio, está en el Proyecto Arquitectónico que en general, sigue el diagrama del flujo mostrado en la figura 3.1. Una vez aprobado el Anteproyecto Arquitectónico, se decide la solución estructural, es decir, los tipos de techos muros, pisos, columnas, trabes, cimentación, etc. y se procede a la elaboración del Proyecto Arquitectónico definitivo.

En base al Proyecto Arquitectónico, se pueden determinar las cargas del edificio y su influencia en cada elemento de la estructura. Estas cargas pueden ser Muertas cuando se habla de los pesos propios de los elementos o cargas vivas dependiendo del uso que tenga el Edificio, por ejemplo, los usuarios, archivos, mobiliario, Materiales en almacén, etc. (1).

Conociendo las cargas en los elementos estructurales, pueden entonces diseñarse para estas condiciones. A continuación es necesario determinar la intensidad de las cargas Accidentales, las cuales pueden ser ocasionadas por viento, sismos, nieve, etc.



**FIG. 3.1.- FLUJO DE UN PROYECTO ARQUITECTONICO.**

Desde la etapa del anteproyecto debe existir comunicación entre el Arquitecto y el despacho de cálculo para dar al proyecto una buena solución estructural que, de alguna manera, garantiza un comportamiento sísmico satisfactorio.



Una vez determinadas éstas fuerzas, se calcula el efecto que pueden tener en los elementos de la estructura, diseñándolos para el caso más desfavorable de combinación de Cargas Gravitacionales más las Cargas Accidentales.

Naturalmente, esta Metodología incluye a los elementos de la cimentación.

En síntesis, se puede decir que el cálculo de un Edificio se reduce a lo siguiente:

- 1.- Determinación del tipo de Estructura (2).
- 2.- Determinación de las cargas de trabajo.
- 3.- Cálculo de fuerzas Cortantes y Momentos flexionantes producidos por cargas permanentes.
- 4.- Cálculo de fuerzas Cortantes y Momentos flexionantes producidos por cargas Accidentales.
- 5.- Diseño de Sistemas de Losas.
- 6.- Diseño de Trabes y Columnas.
- 7.- Diseño de Cimentación.
- 8.- Diseño de Elementos especiales, tales como, escaleras, trabes a torsión, muros de retención, etc..

Ahora bien, el diseño de cada elemento en general, se hace considerando su forma de trabajo que es como sigue (3) (4):

- 1.- Trabes a flexión y Cortante, y algunos casos a Torsión.
  - 2.- Losas a flexión y Cortante.
  - 3.- Columnas a flexocompresión.
  - 4.- Zapatas a flexión y cortante.
  - 5.- Elementos especiales de acuerdo a su trabajo.
- 3.3- MODELOS FISICOS DE LAS ESTRUCTURAS PARA ANALISIS SISMICO.

Como vimos, uno de los pasos intermedios para el Diseño Estructural de un Edificio, es el cálculo de la intensidad de las fuerzas accidentales, tales como las provocadas por los sismos. Para ello, es necesario elaborar un Modelo Físico de la estructura que, mediante su análisis, nos permita conocer las características de dicha estructura y así poder predecir en forma aproximada su comportamiento durante el sismo.

Estos modelos han sido ya ampliamente estudiados y aunque son muy variados, podemos agruparlos en dos: Los Simplificados y los Dinámicos.

Los modelos simplificados se utilizan generalmente para estructuras no mayores a 8 m de altura (5) y no consideran las características dinámicas de la estructura.

Los modelos Dinámicos, consideran que la estructura trabaja como un péndulo invertido, suponiendo que los sistemas de piso no se deforman y las columnas o sistemas portantes, funcionan como resortes amortiguados. Para aclarar la idea, suponga una estructura de concreto armado formada por losas soportadas en traveses y columnas (Fig.3.2). Suponga también que se conoce el peso por unidad de área en cada nivel, que llamaremos " $W/m^2$ " y; que también conoce la Rigidez de todas las columnas, que denominaremos " $K$ ".

El modelo se analiza suponiendo que la estructura oscila en dos direcciones principales, las cuales llamaremos X e Y, formando, por lo tanto, dos péndulos invertidos, uno para cada dirección. El proceso es el siguiente y se resume en la figura 3.3.:

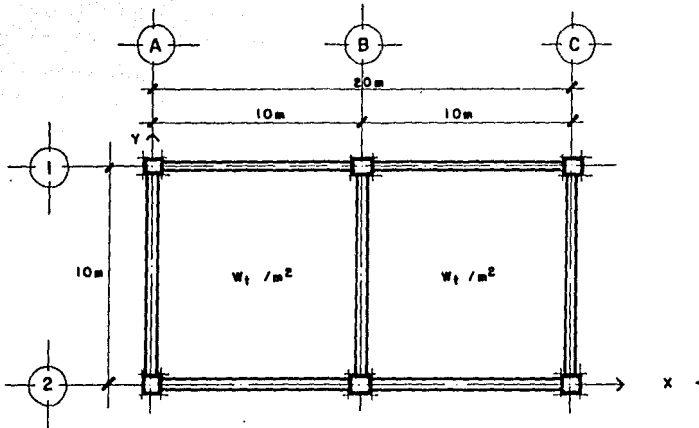
- a) Concentre el peso de cada nivel en un solo punto.
- b) Sume las rigideces de las columnas en cada nivel, considerando el sentido de análisis y concéntralas en un solo elemento portante.

Al modelo así formado, se le llama "Sistema ondulatorio amortiguado con varios grados de libertad" (6) (7). Este nombre aunque suena muy complejo y de hecho, su estudio lo es, -- tiene una explicación realmente sencilla y lógica.

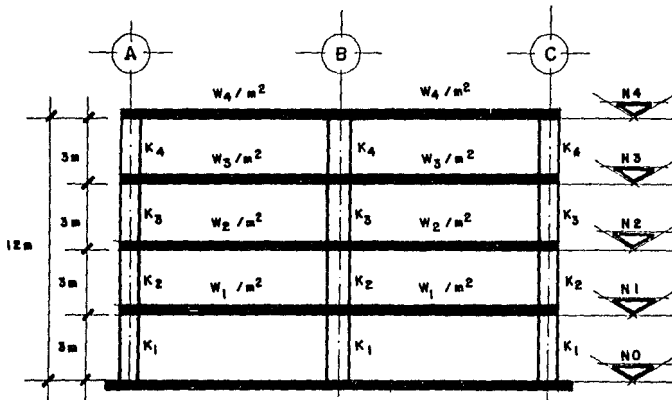
Se llama "Sistema Oscilatorio" dado que tendrá un movimiento oscilante o periódico, es decir, pasará sucesivamente por el centro de equilibrio del péndulo; será "amortiguado" cuando haya disipación de energía debida a la rigidez de las columnas, o sea, el desplazamiento irá disminuyendo paulatinamente con el paso del tiempo, una vez que concluya la vibración del suelo o, correctamente hablando, la fuerza excitadora externa. Por último, tendrá tantos --- "grados de libertad", como concentraciones de masas (o pesos), es decir, por cada nivel de la estructura, se considerará un grado de libertad.

Así pues, para la estructura mostrada en la figura 3.2, tendremos un sistema oscilatorio amortiguado de cuatro grados de libertad, dado que consta de cuatro niveles y en éste caso, - el sistema amortiguador estará implícito en la rigidez de las columnas.

Un aspecto importante de éste tipo de modelos, es que tendrán tantos modos de vibrar como grados de libertad o masas concentradas (Fig.3.4). En general, cuando se hace un análisis sísmico, suele considerarse los tres primeros modos de vibrar de la estructura, o sea: el primer modo o modo natural, cuando todas las masas se desplazan hacia el mismo lado, respecto al centro de equilibrio; el segundo modo cuando dos masas se desplazan hacia un lado del centro de equilibrio, mientras el resto lo hacen hacia el lado contrario y; el tercer modo, cuando -



PLANTA TIPO



ALZADO SENTIDO X.

FIG. 3.2.- ESTRUCTURA TIPO.

Para analizar una estructura sismicamente, se supone que los pesos se concentran en las losas y las rigideces en las columnas de cada nivel. En estas rigideces va implicita parte de la ductilidad de la estructura y su capacidad de amortiguamiento.

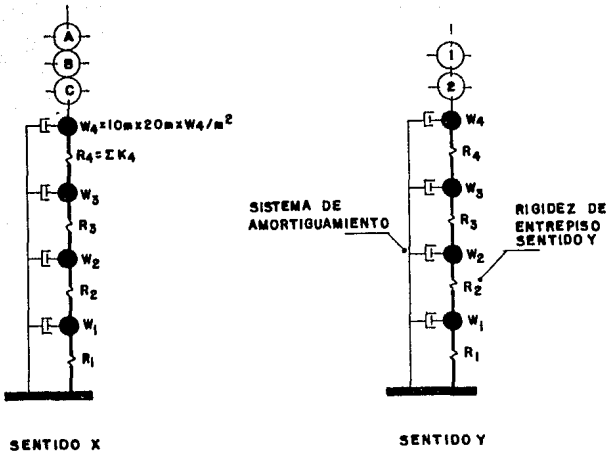


FIG. 3.3.- MODELOS DINAMICOS

La parte inicial del análisis sísmico, supone que la estructura trabaja como péndulo invertido, con las masas concentradas en un punto y las rigideces en una recta. A estos modelos se les llama "Sistemas oscilatorios amortiguados con varios grados de libertad".

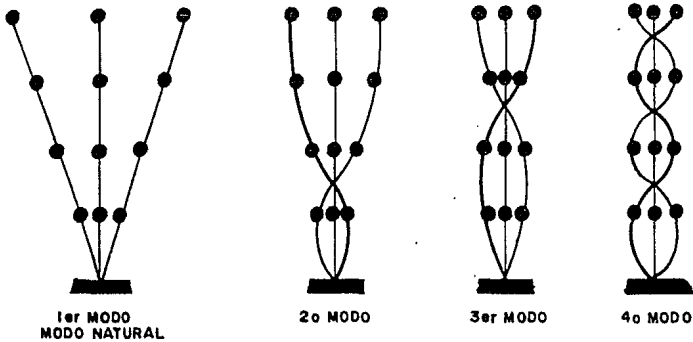


FIG. 3.4.- MODOS DE VIBRAR

Las estructuras tienen, en general, tantos modos de vibrar como, grados de libertad o niveles con masas concentradas. Los análisis sísmicos convencionales, consideran hasta el tercer modo de vibrar.

tres de las masas se desplazan hacia un lado del centro de equilibrio y las restantes lo hacen en sentido contrario a las primeras.

#### 3.4.- CENTRO DE MASAS Y CENTRO DE RIGIDECES.

Los centros de masas y de rigideces, tienen especial importancia en las Estructuras sujetas a fuerzas sísmicas, cuando se analiza la torsión de ellas. Para aclarar el porqué, suponga que soporta una tabla cuadrada sobre cuatro resortes, y estos a su vez, los soporta en una plataforma con rodillos (Fig.3.5a). Coloque, exactamente al centro de la tabla, un peso de por ejemplo 2 Kg y produzca oscilaciones en la plataforma de rodillos. Notará que la tabla se desplazará de derecha a izquierda, alternadamente, si ve la figura de frente, en el mismo sentido en el que oscila la base (Fig.3.5b).

Ahora, coloque el peso en el cuadrante superior derecho de la tabla (Fig.3.5c) y mueva la plataforma igual que en el ejemplo anterior. Podrá notar que, además del desplazamiento alternado de derecha a izquierda, la tabla tendrá un movimiento circular o de torsión.

Por último, coloque de nuevo el peso en el centro de la tabla y cambie uno de los resortes por un elemento rígido (Fig.3.5d). Moviendo la plataforma de la misma forma, podrá observar un fenómeno similar al anterior, osea, desplazamiento y torsión de la tabla.

En el primer caso, el centro de masas coincide con el centro de rigideces del experimento, con lo cual, solo existe desplazamiento en un sentido. En el segundo caso, el centro de masas se trasladó al cuadrante superior izquierdo, mientras que, el centro de rigideces, quedó ubicado en el centro de la tabla, produciéndose, además del desplazamiento anterior, la torsión del sistema. En el tercer caso, el centro de masas se mantuvo en el centro de la tabla, mientras que, el centro de rigideces, se cargó hacia el elemento rígido, produciéndose un efecto sobre la tabla, similar al segundo caso.

El cálculo de los centros, mencionados es, hasta cierto punto, simple y rutinario (8), es importante, sin embargo, tener sensibilidad sobre la ubicación de estos centros, para ello observando detenidamente nuestro ejemplo, notaremos que el Centro de Masas, siempre se carga hacia donde se localiza la mayor concentración de peso y así mismo sucede con el Centro de Rigideces que siempre se cargará hacia la ubicación de la mayor concentración de rigidez de la planta estructural que analicemos (Fig.3.6).

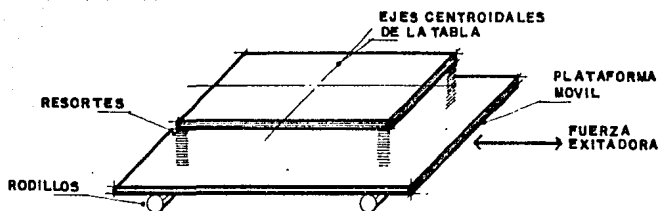


FIG. 3.5 a. - MODELO

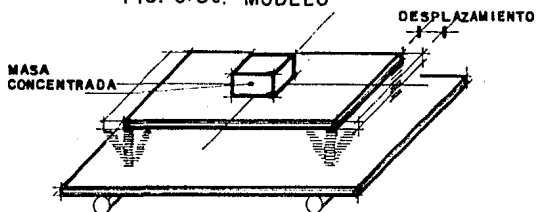


FIG. 3.5 b. - CASO 1

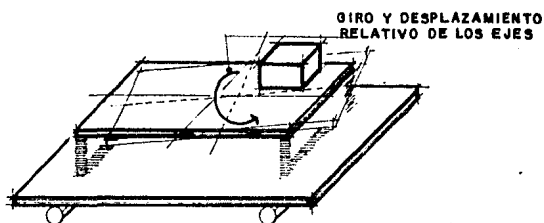


FIG. 3.5 c. - CASO 2

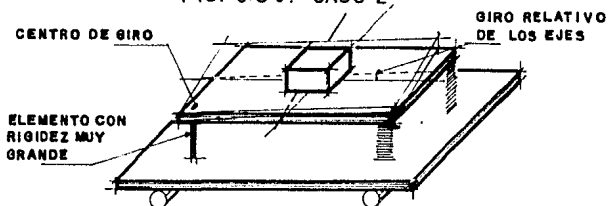
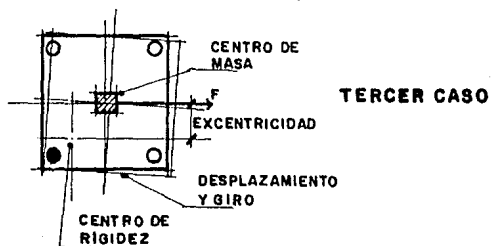
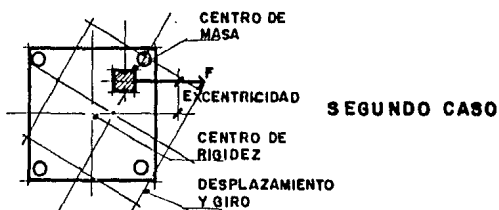
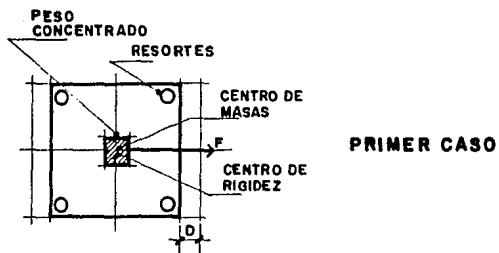


FIG. 3.5 d. - CASO 3

### FIG. 3.5.- CENTROS DE MASA Y RIGIDEZ. CASOS DE EXCENTRICIDAD .

La discrepancia entre el centro de masa y el centro de rigidez, produce excentricidad de las fuerzas sísmicas y sus consecuente torsión.



**FIG. 3.6.- EFECTO DE LA EXCENTRICIDAD DE LOS CENTROS DE MASA Y RIGIDEZ.**

La torsión en las estructuras puede deberse a concentraciones de masa o de rigideces en ciertas zonas de las plantas arquitectónicas. Esta torsión produce desplazamientos erráticos de la estructura y concentraciones de esfuerzos en los elementos portantes que deben ser previstos desde el proyecto arquitectónico.

### 3.5.- MOMENTO DE TORSION.

Como vimos en los ejemplos anteriores, cuando el Centro de Masa de una planta estructural, no coincide con el Centro de Rigidez, se produce en ésta un Momento de Torsión, es decir, además de desplazarse la estructura, tendrá una tendencia a girar alrededor del centro de Rigidez y por lo tanto, podremos llamar a éste último, "Centro de Giro". El efecto que -- produce ésta Torsión en la estructura, será el de incrementar las fuerzas cortantes en los elementos que la portan, ya sea columnas o muros de carga.

El mecanismo es el siguiente; suponga una estructura de un Piso, formada por una losa de concreto armado y cuatro columnas del mismo material, con las dimensiones que muestra la figura 3.7 a. Si, debido al desplazamiento del suelo, se produce una fuerza total en la estructura de 50 ton., el momento de torsión será:  $M = F.d = 50 \text{ ton} \times 2 \text{ m} = 100 \text{ ton. m.}$

La Fuerza de 50 ton. al producir desplazamiento en las columnas, provocará en ellas las fuerzas cortantes marcadas con doble flecha en la figura 3.7. b y estas se verán incrementadas y decrementadas sucesivamente, de acuerdo al sentido del desplazamiento, por las fuerzas cortantes producidas por la torsión de la estructura, como se ve en la misma figura con las flechas sencillas.

Note nuevamente, que el centro de giro se carga hacia el elemento más rígido, mientras que el centro de masa, lo hace hacia la concentración de masas.

En resumen, la torsión de la estructura redundará en fuerzas cortantes sobre los elementos que la portan, ya sean columnas o muros y ésta torsión será provocada por el desplazamiento del centro de Rigidez, respecto al centro de masa (8).

### 3.6.- METODOS DE ANALISIS SISMICO.

Existen en la actualidad gran cantidad de métodos de análisis sísmico, algunos aproximados, otros llamados exactos, iterativos, etc.. Cualquiera que sea el método, puede catalogarse dentro de alguno de los siguientes: Métodos Simplificados, Métodos Cuasidinámicos o Estáticos y Métodos Dinámicos.

La elección para utilizar algún método en especial, dependerá básicamente del tipo de estructura que estudie, es decir, si el edificio que proyectamos es muy esbelto o de poca altura; con gran cantidad de muros o únicamente columnas; con losas reticulares, planas, aligeradas o no etc.. Así mismo, dependerá también del uso que tendrá el proyecto, o sea, para ofi



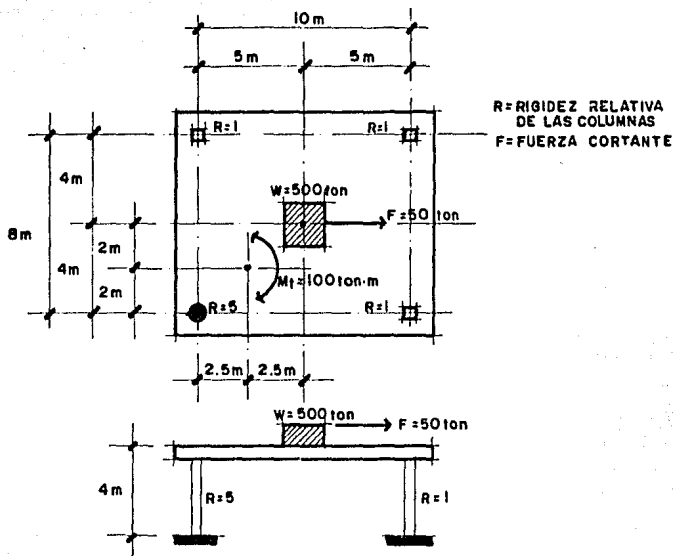


FIG. 3.7 a

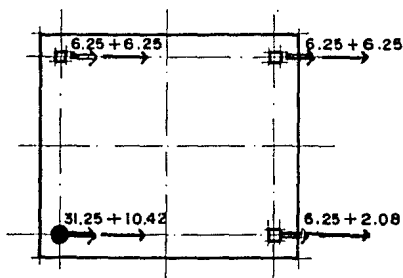


FIG. 3.7 b

FIG. 3.7. - MOMENTO DE TORSION.

La figura muestra como se concentran cargas en la columna más rígida, por proporcionalidad de rigideces y en las columnas más alejadas del centro de giro, por el efecto de torsión de la planta.

cinas, hospital, estadio deportivo, etc.

Cualquiera que sea el Método de análisis sísmico que se utilice, el objetivo es el mismo: Conocer la respuesta de la estructura cuando se presente un sismo. En otras palabras, el objetivo es conocer las cargas que se inducirán a la estructura cuando ésta comience a vibrar para que, combinándolas con las cargas permanentes, podamos diseñarla de manera que sea resistente a sismos y por supuesto, a su uso normal. (5)

Los datos que se obtienen del análisis sísmico, son principalmente las fuerzas cortantes en cada piso de la estructura y, si el análisis es Dinámico, el período natural de vibración.

3.6.1.- METODO SIMPLIFICADO. (9)

El método de análisis simplificado, de acuerdo al Reglamento para Construcciones del D.F, vigente en 1986, se utiliza para edificios bajos de no más de 3 pisos y su estructura sea a base de muros de carga principalmente.

Consiste simplemente en comparar la resistencia al cortante horizontal de los muros en cada dirección, con el cortante que les produciría una aceleración del suelo durante un sismo como muestra la figura 3.8.

El cortante resistente del muro, se calculará multiplicando el área total transversal -- del muro por su esfuerzo cortante permisible. Por ejemplo, para el muro sobre el eje A de la figura 3.8, tendremos un cortante resistente de:

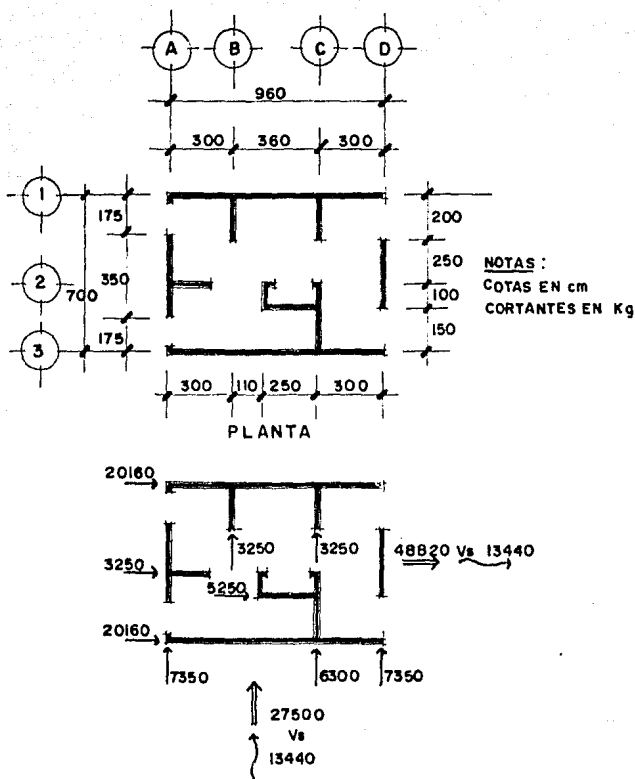
$$V_r = 960 \text{ cm} \times 14 \text{ cm} \times 1.5 \text{ kg/cm}^2 = 20160 \text{ Kg}$$

El cortante sísmico se calcula multiplicando el peso total del piso estudiado por el -- coeficiente sísmico considerado. Para nuestro ejemplo se consideró un coeficiente sísmico -- C = .08 y un peso total del piso W = 168 000 kg, osea, el cortante sísmico será:

$$V_s = .08 \times 168 \text{ 000 kg} = 13440 \text{ kg}$$

Como se vé en nuestro ejemplo, la suma de los cortantes resistentes es mayor que el cortante sísmico, por lo tanto, la estructura es segura. En el caso de que la estructura no resistiera el sismo, podría hacerse lo siguiente:

- 1.- Aumentar el número de muros de carga.
- 2.- Aumentar el espesor de los muros existentes.
- 3.- Cambiar el material original por otro con esfuerzo cortante permisible mayor, por ejemplo, muros de tabique rojo recocido por muros de concreto.



**FIG. 3. 8. - METODO SIMPLIFICADO.**

El método de análisis sísmico simplificado, consiste en comparar la resistencia al cortante horizontal de los muros de carga, con el cortante sísmico, calculado de acuerdo al coeficiente considerado. (Ejemplo tomado de la referencia 37).

El objeto, en los tres casos, será el de aumentar la resistencia de los muros a cortante horizontal, para que, resistan el cortante Sísmico satisfactoriamente.

### 3.6.2.- METODO ESTÁTICO. (10)

El método de análisis Estático, de acuerdo al reglamento mencionado, es utilizable para edificios cuya altura no exceda de 60 m, o sea, entre 15 y 25 pisos, dependiendo de la altura de los entrepisos.

El procedimiento de cálculo para éste método, aunque sencillo, es considerablemente más laborioso que el del método simplificado y lo ejemplificaremos en forma resumida para la estructura tipo de la figura 3.2. El proceso es el siguiente:

- 1.- Se calculan los pesos totales  $W$  de cada nivel para hacer el modelo físico de la estructura (fig.3.9 a).
- 2.- Se calcula el cortante en la base del edificio  $V_b$ , multiplicando su peso total por el -- coeficiente sísmico de diseño. Para nuestro ejemplo, consideramos un coeficiente sísmico  $C = 0.4$  (fig.3.9 b)
- 3.- Se supone que la aceleración en cada nivel, se distribuye proporcionalmente a su altura desde el nivel cero, considerando la aceleración máxima en el nivel más alto y cero en la base del edificio (fig.3.9 b)
- 4.- Se multiplica el factor  $C$  por el peso del nivel y, por un factor  $C'$ , para obtener las -- fuerzas  $F'$  (fig.3.9 c)
- 5.- Se calculan los cortantes  $V'$  en cada entrepiso, sumando en forma acumulada, de arriba -- hacia abajo, las fuerzas calculadas en el paso 4 (fig.3.9 d)
- 6.- Se calcula el factor  $C'$  suponiendo que el cortante en la base,  $V_b$ , calculado en el punto 2, es igual al cortante en la base calculado en el punto 5. Para nuestro ejemplo:

$$V_b = WC = 1100 \text{ ton} \times 0.4 = 440 \text{ ton}$$

$$C' = \frac{440 \text{ ton}}{500} = 0.88$$

- 7.- Se calculan los cortantes de entrepiso, multiplicando el factor  $C'$  por los cortantes -- calculados en el paso 5. (fig.3.9 e)
- 8.- Se distribuyen los cortantes de entrepiso a cada columna de acuerdo a su rigidez. ---- (fig.3.10)

	W	$\alpha$	a	F'	V'	V
3m	● $W_4 = 200 \text{ ton}$	$\frac{12}{12} = 1.0$	$a_4$	$F'_4 = 200 \times 1 = 200 \times C'$	$V'_4 = 200 \text{ C}'$	$V_4 = 176 \text{ ton}$
3m	● $W_3 = 300 \text{ ton}$	$\frac{9}{12} = 0.75$	$a_3$	$F'_3 = 200 \times 0.75 = 150 \times C'$	$V'_3 = 350 \text{ C}'$	$V_3 = 308 \text{ ton}$
3m	● $W_2 = 300 \text{ ton}$	$\frac{6}{12} = 0.5$	$a_2$	$F'_2 = 200 \times 0.5 = 100 \times C'$	$V'_2 = 450 \text{ C}'$	$V_2 = 396 \text{ ton}$
3m	● $W_1 = 300 \text{ ton}$	$\frac{3}{12} = 0.25$	$a_1$	$F'_1 = 200 \times 0.25 = 50 \times C'$	$V'_1 = 500 \text{ C}'$	$V_1 = 440 \text{ ton}$
	$W_T = 1100 \text{ ton}$					
	$V_b = WC = 1100 \text{ ton} \times 0.4 = 440 \text{ ton}$			$C' = \frac{440 \text{ ton}}{550 \text{ ton}} = 0.88$		
	a		b	c	d	e

FIG. 3.9.- METODO ESTATICO.

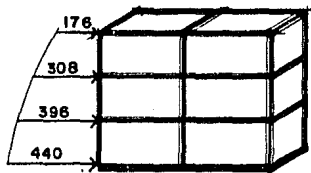


FIG. 3.10.- CORTANTES SISMICOS EN LA ESTRUCTURA.

El análisis sísmico Estático se utiliza para edificios con altura menor a los 60 m. Considera el comportamiento de la estructura durante el primer modo de vibrar y es recomendable solo para estructuraciones sencillas. En otros casos se recomienda utilizar algún método Dinámico. (Ejemplo tomado de la referencia 80).

Pueden existir variantes a éste método, pero insistimos, el cálculo es la rutina, lo importante es en todo caso, comprender que, independientemente del método utilizado, el objetivo es conocer las fuerzas que actuarán en nuestro edificio cuando éste se vea sujeto a un sismo.

### 3.6.3.- METODO DINAMICO. (11)

Los métodos de análisis Dinámico, se utiliza cuando el edificio que proyectamos requiere del conocimiento más preciso de su comportamiento sísmico, ya sea porque su uso sea especial o porque se trate de edificios muy altos.

Los procesos de cálculo para estos métodos pueden llegar a ser muy sofisticados y requerir el uso de computadoras para su elaboración, pero cualquiera que sea el método, esencialmente tiene 3 objetivos:

- 1.- Conocer el período natural de vibración del edificio estudiado para prever casos de resonancia.
- 2.- Conocer las fuerzas cortantes en cada nivel del edificio, producidas por movimientos sísmicos.
- 3.- Conocer los desplazamientos de los niveles del edificio para prevenir choques con construcciones adyacentes.

Es importante aclarar que, en la medida en la que sean más precisos los Métodos de análisis utilizados, en esa medida será más preciso el conocimiento del comportamiento del edificio cuando se presente un sismo, lo cual redundará en un Diseño estructural más confiable y económico.

En resumen podemos decir que, a mayor precisión de cálculo corresponde una mayor confiabilidad de Diseño y un menor costo de la estructura.

### 3.7.- MANUAL DE DISEÑO SISMICO DEL REGLAMENTO PARA CONSTRUCCIONES DEL D.F.

Existe en el Distrito Federal un Reglamento que norma las características, procedimientos y calidad de las construcciones que se pretendan realizar en esta zona, norma, desde la calidad de los materiales, hasta el Diseño Estructural, pasando por la propia Construcción y el Diseño Arquitectónico, incluyendo las instalaciones.

Este Reglamento se compone de dos grandes documentos: El primero es el cuerpo legal, - contiene las especificaciones de materiales y procedimientos desde el punto de vista jurídico; El segundo documento es el conjunto de Normas Técnicas Complementarias que son editadas por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El principal objetivo del Departamento del Distrito Federal, fué evitar trámites burocráticos que retrasaran las revisiones necesarias al Reglamento, de manera tal que, si por --- ejemplo, se requieren cambiar las normas referentes a Diseño Sísmico, el procedimiento es casi tan rápido como lo sea la propia revisión.

Dentro de éste reglamento se encuentra el referente a Diseño Sísmico (5), en él se encuentran especificados los distintos métodos de análisis, los coeficientes Sísmicos que deben utilizarse de acuerdo a la zona, recomendaciones sobre detalles constructivos, esfuerzos permisibles de trabajo de los materiales para construcción, condicionantes de cargas vivas y muertas para Diseño, etc...

Ha habido en la historia de éste Reglamento, cambios esenciales, a continuación presentamos su cronología:(12)

- 1.- Reglamento de 1942.- Primer Reglamento de construcciones para el Distrito Federal que considera el Diseño Sísmico. Permite un incremento del 33% en los esfuerzos para la combinación de carga gravitatoria y carga sísmica. Exenta de análisis sísmico a estructuras menores de 16 m de altura, para edificios mayores, indica un análisis estático con aceleración horizontal de .025 g (2.5% de la gravedad) y para edificios importantes, como hospitales, escuelas, etc., indicaba una aceleración uniforme horizontal del 5% de la aceleración de la gravedad. No se debía suponer que los muros de relleno contribuyeran a resistir fuerzas horizontales.
- 2.- Reglamento de 1957.- Fué una revisión de emergencia que substituyó al Reglamento de 1942. Los esfuerzos permisibles se incrementan al 50% para la combinación de cargas permanentes y sísmicas. Se microregionaliza el D.F., marcando tres zonas principales: Zona de lago ó suelo blando, Zona de pedregal ó suelo firme y Zona de transición. Para edificios normales en la zona de lago, se considera un coeficiente sísmico de .07 (7% de g) y se supone que las aceleraciones varían proporcionalmente a la altura. Se toma en cuenta que los muros de relleno pueden contribuir a la resistencia de la estructura.
- 3.- Reglamento de 1966.- Se siguen los mismos lineamientos que el reglamento de 1957. Para edificios importantes se requería incrementar en un 30% las fuerzas laterales. Se permite el análisis Dinámico Modal y el Diseño por resistencia última. Modifica insensiblemente los coeficientes sísmicos para el cálculo de los cortantes basales.
- 4.- Reglamento de 1976.- Se introducen varias inovaciones respecto a los reglamentos anteriores. Se prevee la edición de Normas Técnicas complementarias al reglamento para facilitar su actualización. Se considera más explícitamente la importancia de la Ductilidad de las estructuras, tomando Factores de Ductilidad de 1, 2, 4 ó 6. se conserva el Factor del 30% para incremento de cargas laterales que considera el reglamento anterior. Se incrementa el coeficiente sísmico. Para la zona de lago, el incremento se hace a .24 (24% de g). Se detalla en forma muy explícita el análisis Dinámico Modal.

5.- Reglamento de 1985.- Sigue los mismos lineamientos que el reglamento de 1976, aun que se cataloga como Normas de Emergencia, a raíz de los Sismos del 19 y 20 de Septiembre de 1985.

Se incrementan los coeficientes Sísmicos. Para la zona de lago, el incremento es a .4 - (40% de  $g$ ).

Para edificios importantes, las fuerza laterales deben incrementarse en un 50% en lugar del 30% de los reglamentos anteriores.

Se hacen cambio a las características que deben cumplir las estructuras para aplicar -- los Factores de Ductilidad, eliminando el Factor de 6.

Se restringe el análisis simplificado a estructuras no mayores de 8.50 m, mientras que el análisis estático y el Dinámico se mantienen iguales.

Se reglamenta el cambio de uso de las construcciones.

Se corrigen las disposiciones para el análisis y diseño de losas planas y muros y cancelan los divisorios.

Se corrigen las separaciones a las colindancias.

### 3.8.- METODOLOGIA PARA LA REVISION DE ESTRUCTURAS FALLADAS POR SISMO.

Cuando, durante un sismo ha fallado un edificio, es necesario revisarlo minuciosamente para determinar el grado de falla y poderlo reutilizar en caso de que sean reparables los daños o, en su caso demolerlo.

Por otro lado, el estudio de estructuras falladas puede llevar a conocimientos importantes sobre el comportamiento de las estructuras pues como dice el Dr. Emilio Rosenbluth (13). "La psiquiatría es al resto de las ramas de la medicina, lo que la Ingeniería Sísmica a las otras ramas afines...". En otras palabras, la falla sísmica de un edificio, pone de manifiesto hasta los errores más pequeños cometidos en un edificio, desde el proyecto Arquitectónico, hasta su construcción, pasando por el propio Diseño Estructural.

La Metodología que se propone a continuación en forma resumida, puede ser tan estricta y rigurosa o tan superficial como lo amerite la falla del edificio revisado (14):

- 1.- Recopilación de información: Se obtienen los datos generales del edificio, tales como: Nombre del edificio, Ubicación, Año de construcción, Fechas de cambios importantes, Función que cumple (actual y original), Número de niveles incluyendo sótanos, alturas de entrepisos, zonificación de acuerdo a reglamentos, etc.
- 2.- Trazo de croquis: De las plantas y cortes, indicando materiales de construcción, tipo de recubrimientos, sistema estructural principal, etc...
- 3.- Descripción visual de daños: grietas, desprendimientos, derrumbes, etc... Indicando su ubicación en croquis.
- 4.- Revisión del sistema estructural: Se indican forma, dimensiones y materiales de los sistemas resistentes tales como losas, muros de carga, trabes y columnas. Así como de los muros de relleno. Se deben incluir los croquis de falla de los elementos
- 5.- Revisión de instalaciones: Se deben ubicar escaleras, elevadores y maquinaria, especialmente la pesada o que pueda inducir cargas vibratorias importantes a la estructura
- 6.- Estimación de desplomes del edificio.
- 7.- Documento Fotográfico.
- 8.- Documentos legales: De ser posible deberán recopilarse planos constructivos y memorias de cálculo.
- 9.- Probetas de los materiales de construcción: Se toman probetas para su posterior análisis de concretos, varillas de acero, acero estructural, etc... Indicando la ubicación de dichas probetas, por ejemplo; corazón de concreto columna 3er. nivel ejes A-5.
- 10.- Una vez obtenida la información preliminar, se analiza estructuralmente, considerando en especial su comportamiento dinámico. Deberán tomarse los datos de las muestras



probadas en laboratorio para determinar su resistencia.

Los objetivos que puede tener una revisión, en general son los siguientes:

- 1.- Reparar los daños ocasionados menores o no, para la reutilización del edificio.
- 2.- Deslindar responsabilidades legales en el caso de colapso parcial o total de la estructura, en especial para el pago de seguros o de daños y perjuicios.

## REFERENCIAS DEL CAPITULO III.

- ( 1 ) Referencia 35, op. cit.
- ( 2 ) Referencia 53, p.p. 17-13b, op. cit.
- ( 3 ) Referencia 31, op. cit.
- ( 4 ) Referencia 65, op. cit.
- ( 5 ) Referencia 38, op. cit.
- ( 6 ) Referencia 23, p.p. 57-65, op. cit.
- ( 7 ) Referencia 56, p.p. 45-80, op. cit.
- ( 8 ) Referencia 76, op. cit.
- ( 9 ) Referencia 37, op. cit.
- (10) Referencia 53, p.p. 41-50, op. cit.
- (11) Referencia 19, p.p. 243-520, op. cit.
- (12) Referencia 77, op. cit.
- (13) Referencia 56, pág. 15, op.c it.
- (14) Referencia 83, op. cit.

III CAPITULO IV

#### IV.- COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS ANTE FUERZAS SISMICAS.

##### 4.1.- INTRODUCCION.

Hemos hablado hasta ahora de la estructura de los edificios, mencionando en algunas partes la cimentación. Puede ser claro, casi para cualquier estudiante de Arquitectura, incluso de los primeros niveles la diferencia entre estructura y cimentación, sin embargo, conviene - definir éstos términos antes de continuar.

Podemos llamar "Estructura" a la parte de un edificio que soporta sus cargas, permanentes y accidentales, tales como las trabes, columnas, losas, muros de carga, etc.. Así pues, la Estructura se forma de dos partes: La Superestructura que será la parte de la estructura que sobresale del nivel del suelo y; la Subestructura o Cimentación que será la parte que queda bajo el nivel del suelo, es decir, enterrada en él.

Para los fines que se persiguen en el presente trabajo, llamaremos "Suelo" a la capa superficial de la corteza terrestre o, si usted lo prefiere, suelo será la parte de la corteza terrestre en la que se cimentan las estructuras. Es importante hacer esta aclaración dadas las distintas conotaciones que puede tener la palabra "Suelo", por ejemplo, para un Agrónomo, el suelo es una porción de tierra cultivable o, para un Geólogo, es la parte de la corteza formada por rocas sedimentarias. Como podrá observar, la definición depende de la rama profesional que la utilice. (1)

Por último, llamaremos Cimentación o Subestructura, a la parte de la estructura que transmite las cargas al suelo. (fig. 4.1)

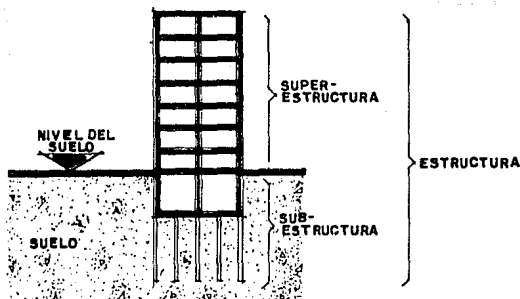
Si, hasta ahora, hemos visto que un Sismo es un movimiento de la corteza terrestre y que éste transmite fuerzas horizontales a las estructuras, es casi evidente que el comportamiento de la estructura dependerá de ella misma pero, también de cómo responda el suelo sobre el cual se cimiente.

##### 4.2.- ANTECEDENTES INTRODUCTORIOS A LA MECANICA DE SUELOS.

La Mecánica de Suelos es una rama de la Ingeniería Civil que estudia el comportamiento de los suelos, sus características y propiedades, con el fin de utilizarlos óptimamente o, en todo caso, adecuadamente para soportar estructuras sobre ellos.

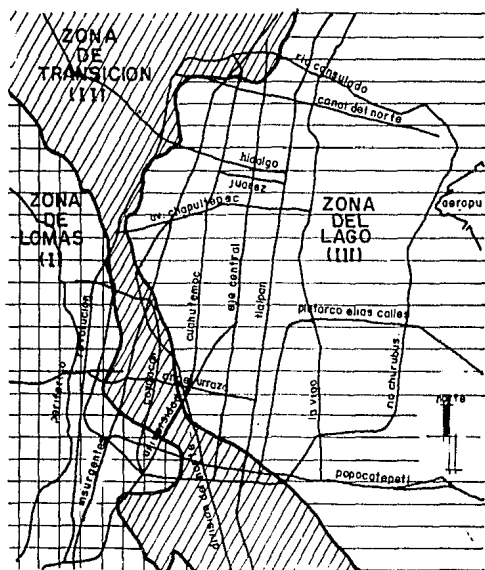
##### 4.2.1.- TIPOS DE SUELO Y ZONIFICACION EN EL DISTRITO FEDERAL .

Para tratar el comportamiento de los suelos ante carga sísmica, haremos una clasificación de éstos de acuerdo a sus características estructurales comunes, es decir, aquellas que definen como se comportarán al recibir una fuerza determinada. En atención a lo anterior, clasificaremos a los suelos de la siguiente forma:



**FIG. 4.1.- ESTRUCTURA, CIMENTACION Y SUELO**

La estructura es la parte del edificio que soporta sus cargas. Se divide en subestructura, que es la que transmite las cargas al suelo y, superestructura que es la que sobrepasa el nivel del suelo.



**FIG. 4.2.- ZONIFICACION DEL SUELO EN LA CD. MEXICO**

La Ciudad de México se encuentra dividida, para efectos de diseño estructural, en tres Zonas. La Zona I es de terreno firme; la Zona III es de terreno blando y la Zona II es de suelos formados por arenas y gravas con gran cantidad de galerías y cavernas. (Dibujo tomado de la referencia 6B).

a) SUELOS COHESIVOS

Los suelos cohesivos, son aquellos en los que existe atracción directa entre sus partículas, o sea, en los que existe cohesión. Estos suelos pueden moldearse sin que se desmoronen, como si se tratara de plastilinas. En general, la mayor parte de sus partículas son microscópicas y con altos contenidos de materia orgánica tales como las Arcillas, Arcillas Limosas, y Limos Orgánicos. (2)

b) SUELOS NO COHESIVOS.

Los suelos no cohesivos son aquellos en los que no existe atracción directa entre sus partículas o la tienen en pequeñas magnitudes. Haciendo la misma analogía que en los suelos cohesivos, los no cohesivos son aquellos que al tratar de moldearlos se desmoronan con demasiada facilidad tales como Arenas, Arenas Arcillosas o Limosas, Limos Inorgánicos, Gravas, Cantos Rodados y las combinaciones de dos o más de ellos.

c) ROCAS.

Utilizando la definición de Karl Terzaghi, roca será "Un agregado de minerales unidos por poderosas y permanentes fuerzas cohesivas" (3). Estas pueden ser Igneas, cuando proceden del magma como las formaciones de lava volcánica; metamórficas cuando han sido transformadas por procesos distintos a su formación original o; Sedimentarias si son aglomerados minerales que han sido sedimentados en formaciones lacustres principalmente. (4)

De acuerdo al Reglamento para Construcciones del Distrito Federal (5), la Ciudad de México, se encuentra zonificada en 3 partes (fig. 4.2): La llamada Zona III, está compuesta principalmente por Arcillas de alta compresibilidad y se llama también Zona de Lago; La Zona I o Zona de Terreno Firme, está compuesta por suelos duros, o sea, Rocas, gravas y arenas altamente comprimidas y; La Zona II o Zona de Transición en la que pueden encontrarse suelos catalogables en cualquiera de las dos Zonas anteriores.

La importancia de zonificar de acuerdo al tipo de suelo, radica en que el comportamiento estructural de los edificios depende en gran parte del suelo que los soporta y como ya mencionamos, de acuerdo a las características mismas del suelo, estará su propio comportamiento. En otras palabras, la elección y comportamiento de la cimentación de un edificio está directamente en función del tipo de suelo.

4.2.2.- PROPIEDADES INDICES DE LOS SUELOS. (2) (6)

Se llaman propiedades índices de los suelos al conjunto de características que definen su comportamiento. En general, existen ciertas características que intervienen directamente en su comportamiento sísmico y son las que importan en nuestro estudio:

a) GRADO DE SATURACION

El Grado de Saturación de un suelo, se define como la relación entre su volumen de agua y su volumen de materia sólida. Si llamamos "Sr" al porcentaje de saturación, "E" al volumen de sólidos y Ew al volumen de agua, tendremos:

$$Sr(\%) = \frac{E_w}{E} \times 100$$

Un suelo estará COMPLETAMENTE SATURADO cuando su porcentaje de saturación sea del 100%, - osea cuando exista el mismo volumen de agua que de materia sólida. Cuando éste porcentaje oscile entre el 26% y el 95%, se dice que el suelo está PARCIALMENTE SATURADO. Y, por último, si el suelo tiene un porcentaje de entre el 0% y el 25%, se dice que el Suelo es SECO (fig.4.3)

b) RELACION DE VACIOS

Si llamamos volumen de vacios al contenido de agua y aire de un suelo, podemos definir como RELACION DE VACIOS a la proporción entre el volumen de vacios del suelo, respecto a su volumen de sólidos. Si llamamos "V" al volumen total del Suelo, "Vw" al volumen de vacios y "e" a la relación de vacios, tendremos:

$$e = \frac{V_w}{V - V_w}$$

donde V-Vw nos da el volumen de sólidos. (fig. 4.4)

c) ANGULO DE FRICCION INTERNA Y ANGULO DE REPOSO.

El Angulo de Fricción Interna se encuentra íntimamente ligado a la resistencia al corte - del suelo y puede definirse en una forma cualitativa, como la trabazón existente entre las partículas del suelo. En general, si hablamos de suelos homogéneos e isotrópicos, es decir, aquellos formados por partículas de dimensiones semejantes en los que la transmisión de esfuerzos - de una partícula a otra es igual, el ángulo de fricción interna del suelo es igual a su ANGULO DE REPOSO que será el ángulo que forma el material, sobre la horizontal, al ser colocado a volteo. (fig. 4.5).

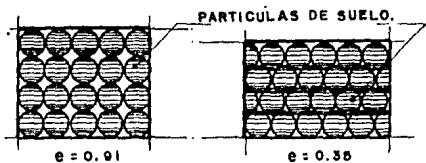
d) ESFUERZOS EFECTIVOS Y ESFUERZOS NEUTROS.

La transmisión de esfuerzos en los suelos puede darse mediante dos formas distintas. La - primera de ellas es cuando los esfuerzos son ejercidos de partícula a partícula directamente, - en este caso diremos que los esfuerzos son efectivos. La segunda forma se da cuando los esfuerzos se transmiten a través de los líquidos que contiene el material, en éste caso lo llamaremos esfuerzos neutros. Es evidente, por lo tanto, que en suelos parcial o totalmente saturados, la principal transmisión de esfuerzos se dará en esfuerzos neutros y, por el contrario, en suelos



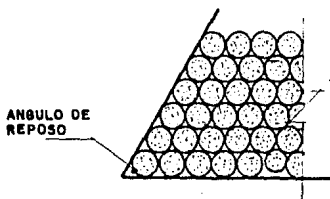
**FIG. 4.3.- GRADO DE SATURACION DEL SUELO.**

El grado de saturación de un suelo, es la medida cuantitativa de su contenido de humedad.



**FIG. 4.4.- RELACION DE VACIOS.**

- La figura muestra el estado más suelto de una parte de suelo formado por partículas esféricas y regulares. En la segunda parte se muestra el mismo suelo en un estado más denso.



**FIG. 4.5.- ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA.**

- La figura muestra un material homogéneo e isotrópico en el que el ángulo de fricción interna es igual al ángulo de reposo ( $\theta$ )



secos, la principal transmisión será en esfuerzos efectivos. (fig. 4.6)

Hay que aclarar que estos dos conceptos, aunque dependen de las propiedades índices del suelo, no lo son propiamente dichos.

#### 4.3.- COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS DE ACUERDO A SU TIPO. (7) (8)

##### 4.3.1.- SUELOS SECOS NO COHESIVOS.

En esta parte, tomaremos en cuenta tres grupos de suelos no cohesivos: en el primer grupo consideraremos los formados por granos de tamaño medio, con resistencia suficiente o, su jets a fuerzas lo suficientemente pequeñas para que la ruptura de los granos no juegue un papel importante en su comportamiento; el segundo grupo lo formarán los suelos constituidos por granos de gran tamaño en los que los cambios de volumen estarán determinados por su ruptura; - el tercer grupo incluye los materiales de grano fino, como los limos, que pueden licuarse o -- ser lubricados por el aire.

##### a) PRIMER GRUPO.

El comportamiento de suelos del primer grupo, puede describirse en función de la relación de vacíos crítica. Según el Ing. Casagrande (1936) la relación de vacíos crítica es el valor límite, arriba del cual, el suelo tiende a reducir su volumen, al deformarse por la aplicación de una fuerza cortante y abajo de este límite, el suelo tiende a dilatarse ante la presencia de dicha fuerza (fig. 4.7).

El sismo producirá ondas vibratorias en el suelo de tal forma que, dichas ondas, provocarán efectos de corte en el suelo. Si la relación de vacíos natural del suelo se encuentra por arriba de la crítica y la vibración alcanza cierta magnitud, el suelo tenderá a reducir su volumen. Por el contrario, si la relación de vacíos natural, se encuentra por debajo de la crítica, el suelo tenderá a aumentar su volumen.

Para suelos de este grupo se han hecho estudios de taludes, encontrándose que, el talud puede soportar vibraciones tales, que  $\tan \theta / g$  no exceden el valor del ángulo de fricción interna ( $\tan \theta$ ), donde  $\theta$  es el ángulo del talud. Este fenómeno es debido a que mientras el talud conserve su ángulo de fricción interna, se encontrará en equilibrio "inestable", es decir, en espera de una fuerza lo suficientemente grande como para hacerlo fallar. Los esfuerzos cortantes que produzca el sismo al suelo, por ser un suelo granular y seco, no producirán efectos de presión de poro y por lo tanto sólo podrá fallar al producirse cortantes tales que rebasen el susodicho ángulo de fricción interna. (fig. 4.8)

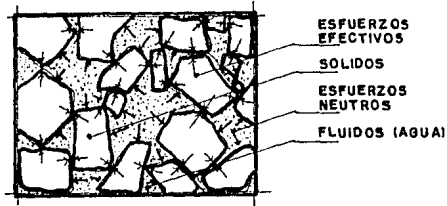


FIG. 4.6.- ESFUERZOS EFECTIVOS Y NEUTROS.

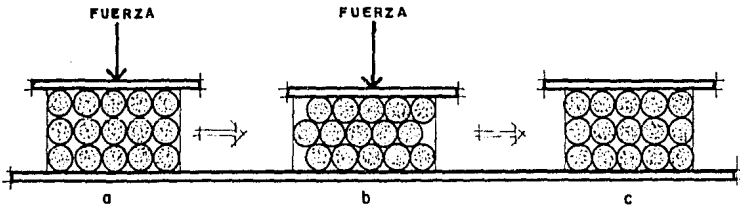


FIG. 4.7.- RELACION DE VACIOS CRITICA.

La figura 4.6 muestra como la transmisión de esfuerzos en un suelo, se hace de las partículas sólidas a las partículas sólidas y de los fluidos (principalmente agua o aire) a éstas.

En la figura 4.7a se muestra una parte de suelo en su estado más suelto y se le aplica una fuerza cortante  $P$ . Teóricamente ésta se distribuye en cada partícula del suelo. Se supone un suelo homogéneo e isotrópico. En una segunda etapa el suelo llegaría a su estado más compacto suponiendo que se sigue sometiendo al mismo esfuerzo cortante, tal como se muestra en el esquema b). Si continúa la aplicación de la carga, llegará el momento en que las partículas que conforman al suelo se separan como se muestra en c), a este fenómeno se le conoce como DILATANCIA y a la relación de vacíos en el momento que comienza a ocurrir se le llama RELACION DE VACIOS CRITICA.

b) **SEGUNDO GRUPO.**

En el comportamiento de suelos en los que el tamaño de los granos que lo forman y las fuerzas a que se sujetan, son lo suficientemente grandes como para provocar su ruptura, el factor que determinará la falla, será precisamente la resistencia al corte de cada grano. Tal es el caso de los enrocamientos de las presas. Dichos enrocamientos son colocados a volteo sobre taludes de arcilla compactada al 90 o 95% de la prueba proctor, aunque cabe aclarar que en estos casos, la fuerza actuante de más importancia sería el golpe del agua sobre la cortina de la presa y no propiamente el cortante por sismo sobre el propio enrocamiento.

En general, podemos decir que salvo algunos casos muy especiales, es remota la falla de éste tipo de suelos por sismo únicamente, deberá conjuntarse la fuerza sísmica con alguna otra falla local tal como derrumbamientos de elementos cercanos al suelo, empujes de agua y -- otros suelos colindantes, etc..

c) **TERCER GRUPO.**

Finalmente tendríamos los suelos formados por partículas tan finas que al producirse el sismo, se ejercerían presiones de poro en el material.

En suelos compuestos por partículas microscópicas, tales como limos inorgánicos, al producirse el sismo tenderá a reducir su volumen, como en el caso de los suelos del primer grupo y si, con la reducción de volumen se encuentra dificultad para dejar escapar el aire contenido naturalmente, la fuerza sísmica será tomada inicialmente por el aire provocando que éste busque escape en un efecto como de inflado del material. A este fenómeno se le conoce como presión de poro. La presión de poro suele aumentar a lo largo de una superficie de falla y por -- ella se produciría una lubricación de aire y por lo tanto la licuación del material (fig. 4.9). El fenómeno es muy conocido en los silos de cemento, donde se produce al vaciarlos, lo que hace que haya que darles un diseño especial.

Por experiencia se ha visto que la lubricación de aire ocurre fácilmente en limos muy sueltos.

4.3.2.- **SUELOS NO COHESIVOS PARCIALMENTE SATURADOS.**

Como en los suelos secos, consideraremos tres grupos de suelo o tres conjuntos de condiciones:

En el primer grupo, no hay rotura importante de partículas, ni licuación por flujos, o sea que puede escapar el aire y/o el agua con relativa facilidad. Earkan estudia en --- 1962 los materiales de este tipo, sujetos a vibración y encuentra que los parámetros que definen éste comportamiento son funciones del contenido de humedad.

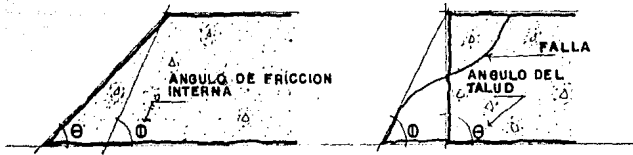


FIG. 4.8.- FALLA EN TALUDES.

La Falla de taludes, está directamente relacionada con su ángulo de fricción interna. En la figura se muestra la posibilidad de falla cuando éste ángulo, es mayor al ángulo del talud.

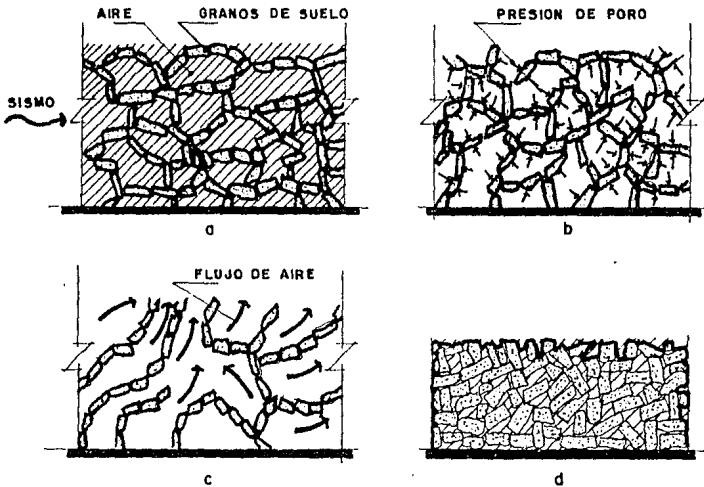


FIG. 4.9.- LICUACION DE SUELOS FINOS SECOS Y SUELTOS.

a) estructura de un suelo limoso. b) presión de poro producida por el cortante sísmico y la dificultad del aire para escapar este fenómeno provoca la ruptura de la estructura. c) falla por lubricación de aire. Puede entenderse como un sistema de tuberías por donde escapa el aire contenido en el material, en este momento las presiones efectivas (las que se transmiten de partícula a partícula) se hacen iguales a cero. d) al escapar el aire contenido el suelo tiende al equilibrio, cesa la presión de poro y el material llena los espacios vacíos (la zona de falla) produciéndose la LICUACION del material y por ende la reducción de la relación de vacíos inicial.

Si el contenido de humedad es inferior al óptimo ( 17% para arenas típicas ), el agua contenida por el suelo, creará un efecto de cohesión entre las partículas y por lo tanto aumentará su resistencia al corte, por el contrario, si el contenido es superior al óptimo, tenderá a reducirse la resistencia al corte por una especie de efecto de lubricación aunque claro, en mucha menor escala.

Quando el tamaño de los granos, la resistencia del material y la presión confinante, son tales que cabe predecir que se producirá la rotura de granos a gran escala, no puede esperarse que la presencia de agua en cantidades que no se aproximen a la de saturación, modifique el comportamiento, mucho más que en aumentar las fuerzas de inercia durante la vibración.

En suelos no cohesivos de grano muy fino, la presencia del agua, introduce una pequeña cohesión que tenderá a proteger el material contra la licuación debida a la presión del aire de los poros. A la vez, la reducción del volumen ocupado por el aire y la mayor dificultad que tiene para escapar, aumentan la tendencia a que se presente éste fenómeno.

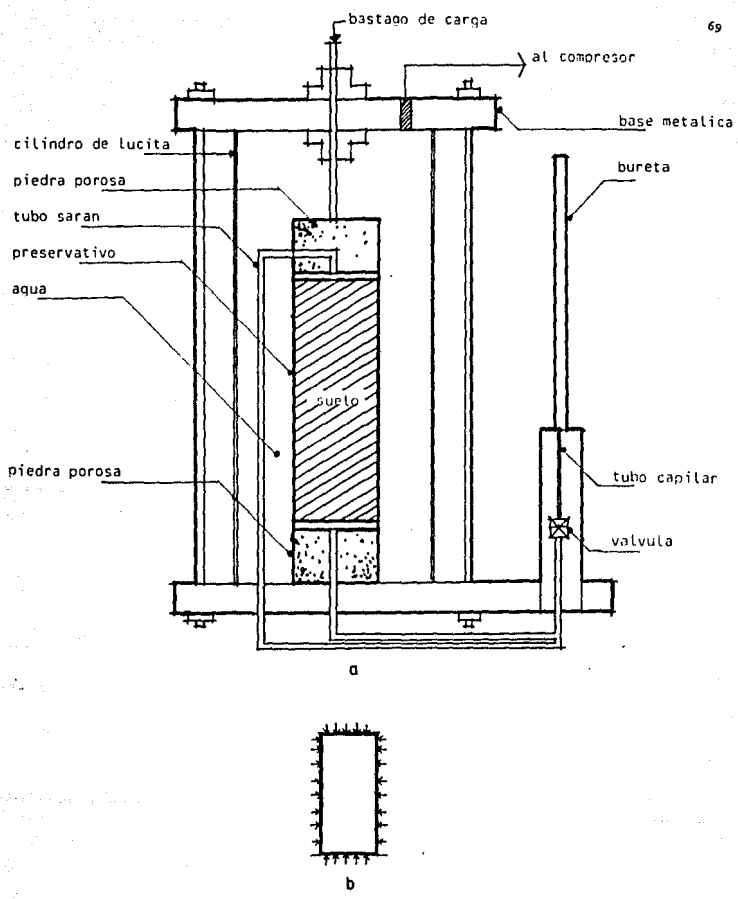
#### 4.3.3.- SUELOS NO COHESIVOS SATURADOS.

En estos suelos pueden presentarse básicamente dos situaciones: Que el agua contenida puede entrar y salir con suficiente velocidad y; que el suelo se encuentre confinado por otros estratos y otros suelos vecinos a él.

Si el agua de los poros puede entrar y salir del material con suficiente velocidad, de manera que no se produzcan presiones apreciables en los poros, el comportamiento de estos suelos no difiere cualitativamente del de los suelos no cohesivos parcialmente saturados.

En el extremo opuesto de condiciones, se pueden distinguir tres fases de falla; licuación inicial, licuación parcial y licuación total.

Para entender mejor el comportamiento de estos suelos, nos referimos a la prueba triaxial no drenada. A grandes rasgos, ésta prueba consiste en someter un espécimen de suelo representativo, de aproximadamente 5 cm. de diámetro por 10 de largo, a fuerzas de compresión en la dirección de los tres ejes principales (fig. 4.10) (9). Aplicando una fuerza cíclica en ésta prueba, Seed y Lee (1966) obtienen que hasta cierto número de ciclos, las deformaciones obtenidas en cada ciclo son pequeñas pero la presión de poro tiene aumento acumulativo en cada ciclo. Después de algunos ciclos, la presión de poro iguala al esfuerzo confinante haciendo el esfuerzo efectivo igual a cero. En éste punto preciso el material entra en una licuación inicial y podemos decir que se encontrará en equilibrio inestable (7). De ahí en adelante, las deformaciones aumentan rápidamente con el número de ciclos, se dice entonces que el material se encuentra en licuación parcial. Cuando la deformación cíclica alcanza el 20%, se dice que la arena se ha licuado completamente.



**FIG. 4.10.- PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL.**

La figura a, muestra la prueba para suelos cohesivos. Mediante esta prueba pueden conocerse la transmisión de esfuerzos efectivos y neutros del suelo. Sirve principalmente, para relacionar los esfuerzos cortantes con los esfuerzos normales de compresión. La figura b, muestra el diagrama de cuerpo libre del espécimen probado.

Es importante aclarar que la frase "número suficiente de ciclos" tiene significados enteramente diferentes según la densidad relativa. En materiales muy sueltos significa no más de 6 ciclos de carga. En muestras muy densas significa varios cientos de ciclos.

El fenómeno de licuación puede ocurrir con mayor probabilidad en cimentaciones corridas que bajo pequeñas zapatas, y su incidencia es más probable en capas delgadas de material no cohesivo, confinadas por materiales relativamente impermeables. En resumen, podemos decir que las tres variables más importantes que definen el comportamiento de los suelos saturados no cohesivos ante excitación sísmica son la densidad relativa, la presión de confinamiento y las condiciones de drenaje. Bajo presiones de confinamiento pequeñas, si un suelo de esta naturaleza está rodeado por un material que no se licúa, basta que su densidad relativa exceda de aproximadamente .7, para que no se licúe cuando se le sujeta a un sismo fuerte digamos, de intensidad MM10 o más y con duración de 3 o 4 min.

Para densidades relativas inferiores o presiones confinantes elevadas, el suelo en cuestión puede licuarse si el tamaño de los granos es suficientemente pequeño como para impedir el drenado de agua con facilidad, si las condiciones de frontera son tales que, alarguen el recorrido de escape del agua o, si se licúa una formación de suelo cercana y deja salir el agua de los poros, aumentando la presión de poro en el suelo en cuestión. En la fig. (4.11) se muestran tres ejemplos de fallas por licuación.

#### 4.3.4.- SUELOS COHESIVOS SATURADOS.

El comportamiento de este tipo de suelos, está determinado por su sensibilidad. Las arcillas muy sensitivas pierden tanta resistencia después de la falla que bien podríamos hablar de un fenómeno de licuación. El fenómeno está asociado, a la reducción de presión efectiva, como en el caso de los suelos no cohesivos. A su vez, las reducciones son provocadas por el colapso de la estructura del suelo.

El factor que debe tomarse en cuenta, para el cálculo de cimentaciones en este tipo de suelos, es el grado de amortiguamiento y éste con alguna experiencia y un estudio de la curva esfuerzo deformación en la primera carga puede estimarse.

En resumen podemos decir que si el suelo es muy sensitivo, la probabilidad de falla por sismo será muy alta, por el contrario, si es poco sensitivo es difícil que falle dada su fuerza cohesiva, en otras palabras, fallará primero la estructura en su conjunto que el suelo sobre el que se cimenta.

#### 4.3.5.- SUELOS COHESIVOS PARCIALMENTE SATURADOS.

Los comentarios relativos a suelos cohesivos saturados son aplicables a suelos insensitivos parcialmente saturados, salvo en cuanto a que es remota la probabilidad de licuación.



- a) Volcamiento de un edificio cimentado sobre suelo arenoso. La falla se debió a que la superficie tan grande del cemento, impidió el escape de agua de los poros con suficiente velocidad. (Fotografía tomada de la referencia 76)



- b) Falla de un talud de tierras durante un sismo. La falla se debió probablemente a la licuación de arenas en un suelo vecino. (Fotografía tomada de la referencia 76).

**FIGURA 4. 11.**



#### 4.3.6.- ROCAS.

El comportamiento de suelos rocosos está determinado más por la estructura del manto rocoso en cuestión que por la resistencia al corte de las rocas como elementos individuales. - En este tipo de suelos hay que tomar en cuenta cavernas, fisuras, brechas y en algunos casos - el grado de porosidad del manto.

Podemos decir que un manto rocoso fallará ante carga sísmica en el caso de que exista una falla geológica que pase por él, tales como brechas sísmicas o la unión de dos placas tectónicas (fig. 4.12).

#### 4.4.- BASES DE LA INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA.

El suelo, soporte de la estructura, es el agente transmisor de la excitación sísmica, desde el foco a la superficie. Como tal, ajusta algunas de las características de la onda a -- sus propiedades dinámicas particulares. Así por ejemplo, un suelo Arcilloso filtrará la mayor parte de las ondas de baja frecuencia, amplificando en un 100% o más las de alta frecuencia. - En todo caso, sea cual fuere el cambio que sufra la onda sísmica, la estructura percibe el movimiento tal como aflora a la superficie. (10)

Uno de los principales objetivos que se persiguen al estudiar la interacción suelo-estructura, es conocer las características dinámicas de ambas partes y procurar, por cualquier medio, que sus períodos naturales de vibración no coincidan, o sea, si llamamos  $T_s$  al período del suelo y  $T_e$  al período de la estructura, debe cumplirse que;  $T_e \neq T_s$ , para evitar el acoplamiento de ondas y por tanto la amplificación de los efectos del sismo.

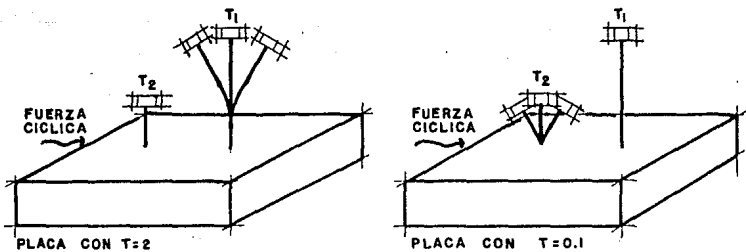
Para aclarar ésta idea, suponga el período natural de vibración de dos suelos distintos, por ejemplo, el de un suelo duro  $T_s = .1$  seg y el de un suelo blando  $T_s = 2$  seg., es decir, el suelo duro vibrará con desplazamientos cortos y rápidos, mientras que el suelo blando, vibrará con desplazamientos largos y más lentos. Suponga también dos estructuras, una alta y muy esbelta y otra baja y rígida. El suelo blando podemos simularlo con una placa de gelatina comercial de 40 x 60 x 20 cm., como muestra la figura 4.13; el suelo duro lo podemos simular con una placa de yeso de las mismas dimensiones. Por otro lado, a la estructura rígida la podemos simular con un alambre de acero de 1/32" de diámetro y una longitud de 15 cm., mientras -- que a la estructura flexible, la podemos simular con un alambre del mismo material y el mismo diámetro pero de 30 cm de longitud, ambos modelos con una masa pesada en la punta, por ejemplo una tuerca de acero de 1" de diámetro.

Empotre los dos alambres en la gelatina y produzcale vibraciones golpeando la superficie que la soporta. Notará que el alambre más largo comienza a oscilar, mientras que el otro -



**FIGURA 4.12**

- Movimiento horizontal de una cerca en San Francisco durante el sismo de 1906. La granja se encuentra sobre la falla de San Andrés en California, EUA. Nótese que las estructuras de madera, al fondo de la foto, no están dañadas. (Fotografía tomada de la referencia 76)



**FIG. 4.13.- INTERACCION SUELO - ESTRUCTURA.**

La figura muestra la influencia de los períodos de vibración del suelo y la estructura. La de período largo tiene mayor respuesta en suelos blandos y menor en suelos firmes. La estructura de período corto se comporta distinta.

no se mueve. Ahora, espote ambos alambres en la placa de yeso y provoque vibraciones. En éste caso, podrá observar que el alambre que oscila es el más corto y el otro se queda prácticamente estático. Es claro que el alambre largo tiene un período natural de vibración más grande -- que el alambre corto.

En resumen podemos decir que, mientras el período de vibración natural de la estructura se acerque más al del suelo, mayor será su respuesta dinámica, llegando en casos extremos, al fenómeno de Resonancia, como se verá en capítulos siguientes.

Otro aspecto importante en el estudio de la interacción suelo-estructura, se da en el tipo de cimentación que se utilice pues, dependiendo de éste, se dará la transmisión de cargas de la estructura al suelo y viceversa. Fenómenos resultantes de esta interacción son por --- ejemplo: asentamientos totales y diferenciales, volcamientos, fallas en la estructura por incremento de fuerzas axiales, licuación del suelo, etc. (10)

#### 4.5.- TIPO DE CIMENTACION. (6)

La cimentación de un edificio o subestructura, se elige tomando en cuenta los siguientes factores principalmente:

- a) Forma de trabajo de la estructura.- se debe tomar en cuenta si las cargas se transmiten por medio de columnas, muros de carga o alguna combinación de ellos.
- b) Peso total del edificio.- considerando las cargas sobre cada elemento estructural, en conjunto con su forma de trabajo.
- c) Tipo de suelo.- tomando en cuenta sus características, forma de trabajo y resistencia.

Considerando el nivel de desplante de la cimentación, podemos agruparlos en dos:

##### 4.5.1.- CIMIENTOS SUPERFICIALES (10) (12)

Los cimientos superficiales son aquellos que se desplantan en la primera capa del suelo, a no más de 8 m. de profundidad y su característica principal es que la transmisión directa de las cargas del edificio al suelo, se hace precisamente en el manto superior, teniendo -- una influencia indirecta en mantos inferiores que pueda considerarse despreciable.

Dentro de éste grupo podemos catalogar a las Zapatas corridas o aisladas, losas de cimentación, cajones de compensación y a las combinaciones entre estos tipos, como pueden ser, -- por ejemplo, las Zapatas de compensación. (fig. 4.14)

##### 4.5.2.- CIMIENTOS PROFUNDOS (10) (2)

Los cimientos profundos son, por analogía a los superficiales, los que se desplantan a más de 8 m de profundidad y la principal transmisión de carga se hace a los mantos profun--

dos del suelo.

Dentro de éste grupo podemos catalogar a los pilotes de punta, de fricción o de control y a la combinación de los cimientos superficiales con los profundos, como por ejemplo los cajones de compensación con pilotes. (fig. 4.15)

Existen también, dentro de éste grupo, las pilas de cimentación, cuya diferencia con los pilotes no llega a ser clara. Algunos autores hacen la diferencia en función del procedimiento constructivo mientras que otros la hacen en función de las dimensiones de los elementos. Para los fines que perseguimos en éste trabajo, no haremos ninguna diferencia y así, llamaremos indistintamente pilas o pilotes a los cimientos que transmiten las cargas a los mantos profundos del suelo.

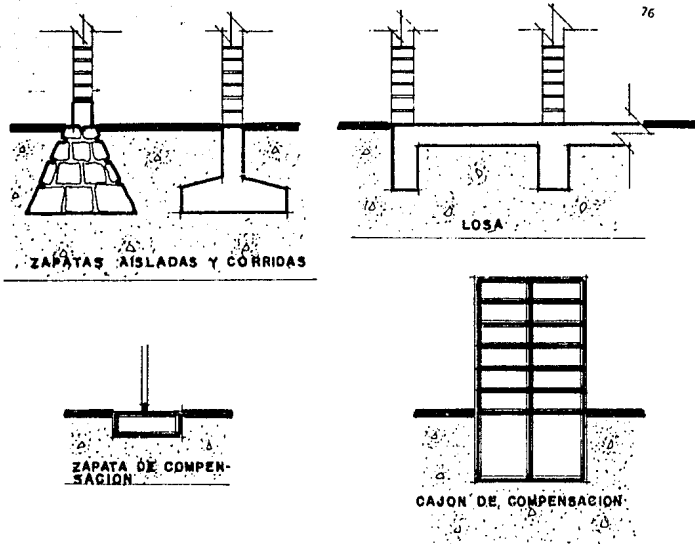


FIG. 4.14.- CIMENTACIONES SUPERFICIALES.

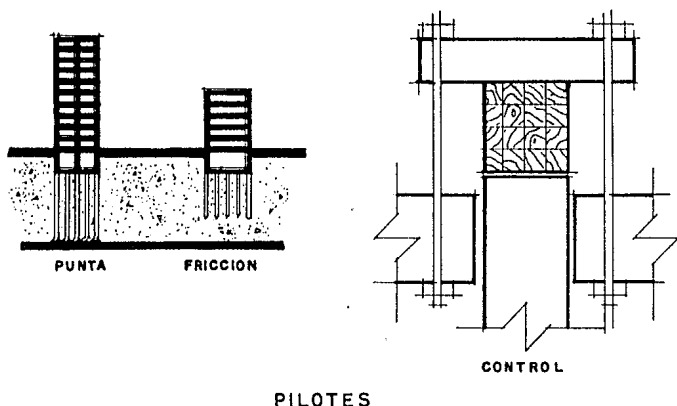


FIG. 4.15.- CIMENTACIONES PROFUNDAS.

En las figuras se muestran los principales tipos de cimentación, de acuerdo a su profundidad y forma de trabajo. Obedeciendo a sus procesos constructivos, pueden marcarse otros tipo.

## REFERENCIAS DEL CAPITULO IV.

- ( 1) Referencia 41, pág. 4 op. cit.
- ( 2) Referencia 60, op. cit.
- ( 3) Referencia 60, pág. 4, op. cit.
- ( 4) Referencia 42, op. cit.
- ( 5) Referencia 37, op. cit.
- ( 6) Referencia 45, op. cit.
- ( 7) Referencia 56, p.p. 455-474, op. cit.
- ( 8) Referencia 19, p.p. 171-244, op. cit.
- ( 9) Referencia 41, pág. 431, op. cit.
- (10) Referencia 23, op. cit.



V

CAPITULO



## V.- COMPORTAMIENTO SISMICO DE LAS ESTRUCTURAS.

### 5.1.- INTRODUCCION.

Una vez que se han comprendido el origen y propagación de los sismos, las principales características de las estructuras y los suelos y los conceptos básicos que intervienen en el comportamiento dinámico de las estructuras, podemos tratar de comprender que les sucede a las estructuras cuando se someten a cargas cíclicas o repetidas, tales como las que ocasionan los sismos intensos.

Sin embargo, puede resultar demasiado pretencioso de dicho comportamiento, dada la gran cantidad de factores que intervienen, desde los materiales para construcción, hasta la forma que se le da al edificio desde el proyecto Arquitectónico, pasando por el tipo de conexiones entre los miembros de la estructura, interacción suelo-estructura, detalles constructivos, etc.

Siguiendo el mismo lineamiento de los capítulos precedentes, en los siguientes nos abocaremos solo a la parte externa del comportamiento, es decir describiremos cualitativamente el comportamiento de las distintas formas estructurales, así mismo mencionaremos las características de comportamiento de los materiales y por supuesto, la forma como se comporta la subestructura.

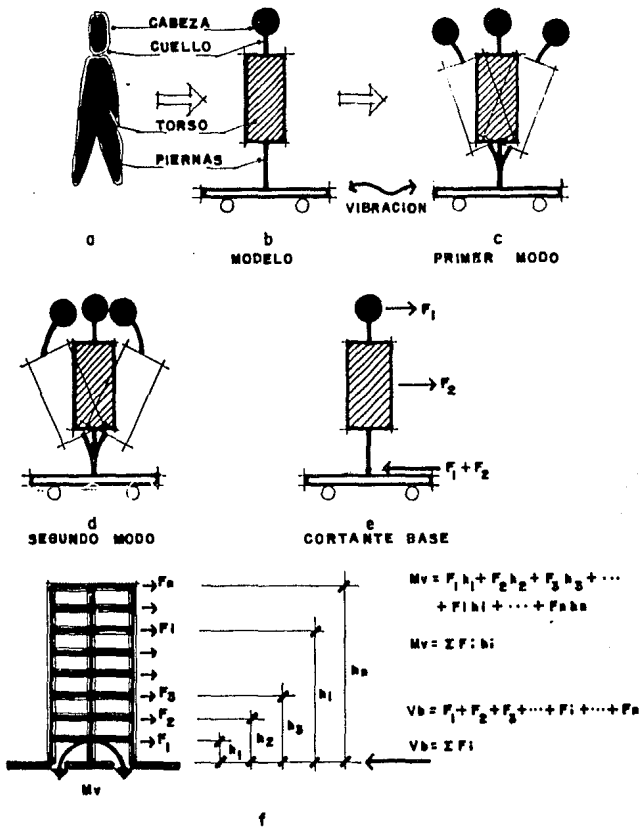
### 5.2.- EFECTO DEL SISMO EN LA ESTRUCTURA.

Existe una idea fundamental para comprender el comportamiento de las estructuras, - una idea basada en "el sentido común" (1): "... Imagínes que la estructura de un edificio es nuestro propio cuerpo, ¿Qué sentimos si nos jalan un brazo o nos golpean una rodilla? ¿Cómo reaccionaría nuestro tronco si somos empujados?. El principio de las estructuras, está en sentirlas..." (2)

Antes de hablar de la forma de las superestructura, resulta conveniente recordar -- cómo actúa el sismo directamente en ella, para esto podemos imaginar que nuestro propio cuerpo es una edificación. Si nos paráramos sobre una báscula, como las que se utilizan para pesar camiones o trailers y alguien en su extremo la hiciera vibrar, nos daríamos cuenta que dicha vibración se transmite a nuestro cuerpo a partir de los pies, haciéndonos perder el equilibrio. Ahora bien, si suponemos que nos anclamos al piso, podremos darnos cuenta que la fuerza que tenemos que hacer para no caer, es mucho menor a la altura de nuestro cuello que digamos, a la altura de los tobillos.

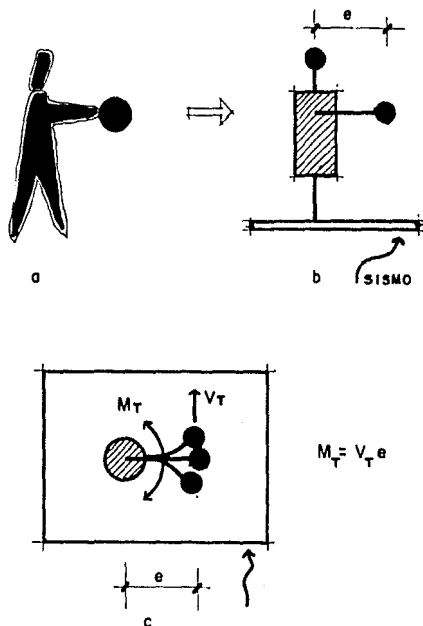
Este fenómeno se debe a la inercia, es decir, a la fuerza con que se opone nuestra propia masa a ser movida. Tratando de hacer un modelo físico, podríamos dividir nuestro cuerpo en pequeñas masas unidas por elementos flexibles (fig. 5.1). En dicho modelo podemos intuir que tendremos dos modos de vibrar, uno cuando las dos masas estén del mismo lado respecto a un





**FIG. 5.1.- EFECTO DEL SISMO EN LA ESTRUCTURA.**

En la figura se muestran los efectos que tiene, la ocurrencia de un sismo, en una estructura, haciendo la analogía con el comportamiento que tendría nuestro propio cuerpo, si nos paráramos en una base vibratoria. Las Fuerzas de inercia con la letra  $F$ ; los cortantes en la base con la letra  $V$  y; el momento de volteo con el símbolo  $Mv$ . las  $h$ , indican la altura de -- entresijos.



**FIG. 5.2.- MOMENTO DE TORSION.**

Si extendemos los brazos, con una masa pesada sostenida en el extremo, se produce un modo de vibrar adicional que corresponde al movimiento rotatorio alrededor del eje rígido (piernas--cabeza). Esto hace la analogía con la torsión de los edificios, producida por concentraciones de masa, excéntricas al centro de torsión o centro de giro. En la Figura "e" significa excentricidad; " $M_T$ ", significa torsión y;  $V_T$ , cortante sísmico.

eje de simetría (digamos la cabeza y el torso) y el otro cuando una masa esté de un lado y la otra del opuesto, es decir tendremos un modo natural o primer modo y un segundo modo respectivamente.

La importancia de esta analogía está precisamente en darse cuenta que la fuerza que se ejercerá en la base (en este caso nuestros tobillos) será exactamente la que se oponga al movimiento de ambas masas y será igual a la suma de ellas, siempre que se despreste el amortiguamiento de los elementos de unión. Es decir:

$$V_b = V_1 + V_2$$

Y si tenemos N masas:

$$V_b = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

Ahora veamos un caso más complejo, supongamos entonces que extendemos los brazos -- sosteniendo un elemento pesado, por ejemplo una bola de boliche (fig. 5.2). Si ejercemos la fuerza en el sentido en que extendemos los brazos, los modos de vibrar serán los mismos que en la fig. 4.1, pero si la fuerza la ejercemos en el sentido perpendicular, además de la fuerza cortante, habrá un efecto de torsión ( $M_t$ ).

Además de estos dos efectos, el de cortante y el de torsión, ocurrirá una tendencia a voltearnos, en otras palabras, habrá en la base tres efectos producidos por el sismo: una fuerza cortante igual a la suma de los cortantes en cada masa; un momento torsionante igual al cortante en la masa exéntrica por su propia excentricidad y; un momento de volteo igual al cortante en la masa n por su propia altura, o sea:

$$V_b = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + \dots + V_n$$

$$M_t = (V_t) (e)$$

$$M_v = \sum V_n H_n$$

donde:

$V_b$ ; cortante en la base

$V_n$ ; cortante en la masa n

$M_t$ ; momento de torsión

$V_t$ ; cortante en la masa exéntrica

$e$ ; excentricidad de la masa exéntrica

$M_v$ ; Momento de volteo

$H_n$ ; Altura desde la base hasta la masa n

### 5.3.- FORMA DE LA ESTRUCTURA.

Al igual que no hay reglas universales para el proyecto arquitectónico común, tampoco las hay para la forma de las estructuras, sin embargo para que su comportamiento sísmico -

sea lo próximo a lo ideal, ésta deberá (3):

- a) ser sencilla
- b) ser simétrica
- c) no ser demasiado alargada en planta o elevación
- d) tener resistencia distribuida en forma uniforme y continua
- e) tener miembros horizontales en los cuales se formen articulaciones antes que en los miembros verticales
- f) tener rigideces que tomen en cuenta las propiedades del suelo

Además de estas consideraciones, quizá la principal garantía que pueda tenerse es que la estructura tenga un detallado minucioso.

En la figura 5.3 se esquematizan estas recomendaciones con algunas observaciones.- En los siguientes capítulos se detalla cada uno de estos comportamientos.

Una consideración muy importante que tenemos que hacer es que existe una relación directa entre la simplicidad de la estructura y su costo, o sea, a mayor complejidad corresponde un mayor costo. De esto podemos deducir que prácticamente puede construirse casi cualquier proyecto por muy complejo que sea y asegurar que su comportamiento sísmico y estático sean -- satisfactorios, pero insistimos, con un costo mayor.

#### 5.4.- LOSAS, TRABES, COLUMNAS, MUROS Y CONTRAVIENTOS.

##### 5.4.1.- LOSAS

Cuando la estructura de un edificio se vé sujeta a fuerzas sísmicas, la principal función de las losas, es la de distribuir las cargas horizontales de manera uniforme al resto de la estructura. Por otro lado, una de las hipótesis que se hace para el diseño sísmico, es que ellas constituyen el elemento de mayor masa y por lo tanto, en el que las fuerzas sísmicas inerciales se concentran.

En otras palabras, la losa debe cumplir con ser lo más rígida posible en su plano y deberá estar debidamente anclada a los elementos de carga, ya sean columnas o muros. (fig.- 5.6)

Basicamente existen tres tipos de losas o sistemas de piso. (fig. 5.7):

- a) Trabes y losas: desde el punto de vista sísmico son las más recomendables dado que cumplen más certeramente con la hipótesis de rigidez y unión con los elementos de carga verticales. Tienen el inconveniente de incrementar las alturas de entrepiso en 30 cm. aproximadamente y su costo constructivo es más elevado por la cantidad de cimbra necesaria.
- b) Losas planas.- desde el punto de vista sísmico son menos recomendables en virtud de que la rigidez en su plano se vé limitada y presentan problemas de punzonamiento por cortante en la zona de apoyo en las columnas. Su diseño y cálculo es más complicado y requieren deta---




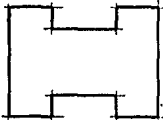
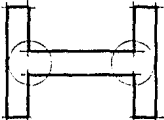


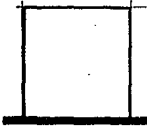
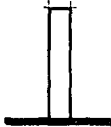
RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	OBSERVACIONES
		Ideal en comportamiento; análisis simple; facilidad de detallado estructural.
		Buena simetría, difícil análisis.
		Estructuras asimétricas que pueden sufrir torsiones importantes y sobre-cargas en los elementos estructurales extremos.
		Aunque hay simetría, las alas largas producen torsión y flexión al cuerpo central.
		Las torres de acceso proyectadas producen problemas en el detallado de las juntas.
		Los edificios muy esbeltos tienen deformaciones horizontales excesivas; se incrementan los efectos de volteo en la base.

FIG. 5.3.- FORMA DE LA ESTRUCTURA.

FIGURA 5.3.- Continuación

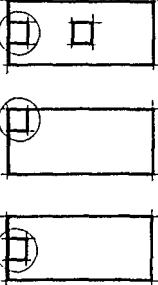
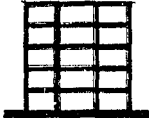
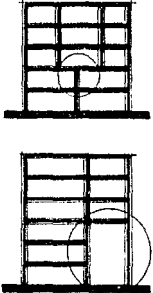

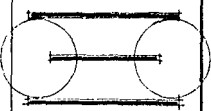
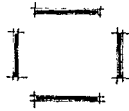
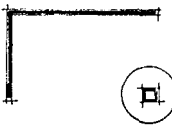

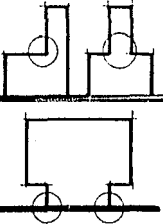
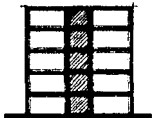
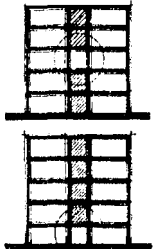


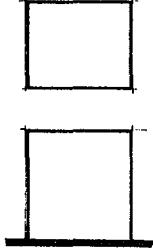
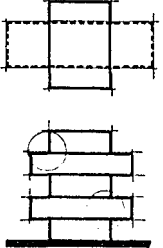
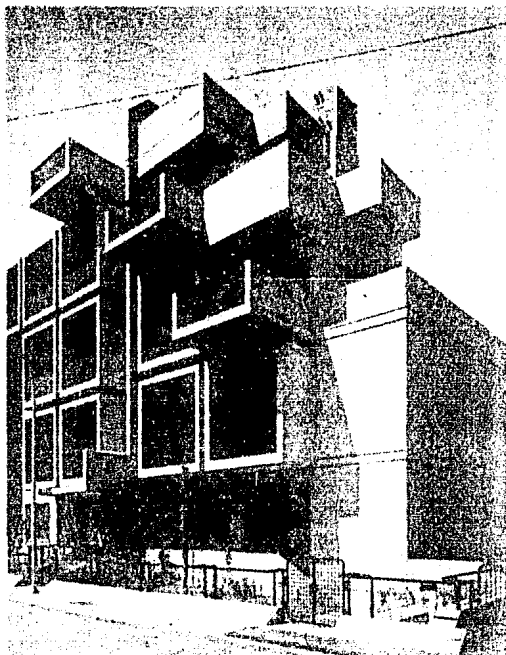
RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	OBSERVACIONES
		<p>Funcionamiento asimétrico que introduce torsiones y esfuerzos adicionales.</p>
		<p>La discontinuidad en las cargas verticales dificulta el análisis y produce estructuras más costosas.</p>
		<p>La falla de elementos resistentes en alguna dirección la hace vulnerable en alto grado. Esto no es permitido por el reglamento para construcciones del D.F. (Referencia 38)</p>
		<p>La asimetría en las rigideces produce excentricidades y torsiones fuertes</p>

FIGURA 5.3.-Continuación

RECOMENDABLE	NO RECOMENDABLE	OBSERVACIONES
		<p>Los rematamientos en fachadas pueden requerir cambios en las dimensiones de los elementos de carga vertical (columnas) o momentos de volteo fuertes en las plantas bajas y cimentación. Se dificulta el análisis estructural.</p>
		<p>El piso menos rígido es el más vulnerable a fallar. Se pierde la continuidad de los sistemas resistentes pudiendo resultar inútil la provisión de redundancias estructurales.</p>
		<p>Cuidese el comportamiento diferencial de los extremos.</p>
		<p>Los desfazamientos en las diferentes plantas complican el análisis y la predicción del comportamiento. Pueden requerir cambios en las secciones de los elementos de carga vertical y horizontal.</p>



Los edificios demasiado complejos requieren diseños muy sofisticados y detalles estructurales complicados.

Fotografía derecha:  
Edificio en Empoli, Italia.  
Proyecto: La Franco Benvenuti.

Fotografía inferior:  
Edificio en Pau, Francia.  
Proyecto: Jean, P. Boulin.  
(Tomadas de la revista ---  
IMCYC, Vol 21, N° 151, 1985)

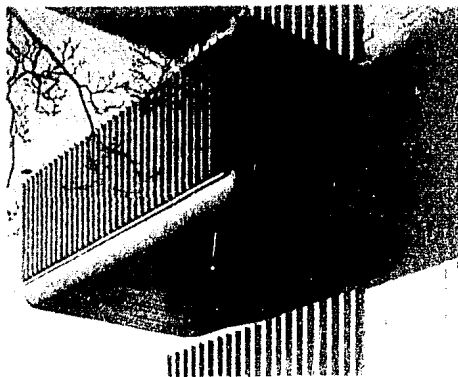
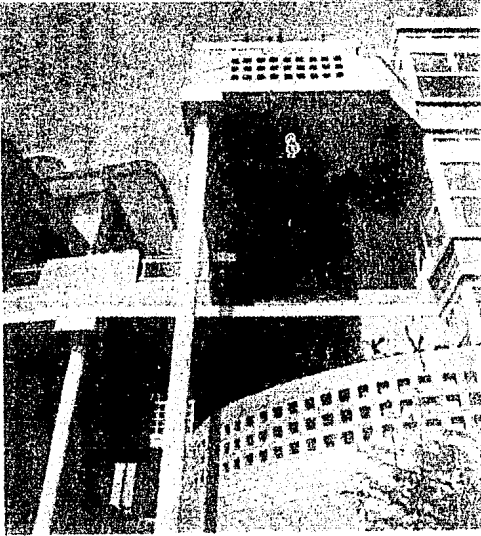


FIGURA 5.4.





Los edificios demasiado esbeltos pueden tener comportamientos dinámicos amplificados por su misma esbeltez. esto implica realizar análisis muy elaborados y por lo tanto más costosos. En la estructura mostrada en la fotografía inferior, el análisis debe realizarse como medio continuo, lo cual, implica uso de computadoras. Estos tipos de edificios no son recomendables en zonas sísmicas.

Fotografía superior:  
Unidad habitacional en Kassel, Alemania Occidental.

Proyecto: Hermán Hertzberger.

Fotografía inferior:  
Central solar en Targasonne, Francia.

Proyecto: Pierre Milande.

(Fotografías tomadas de la Revista IMCYC, -  
Vol. 22, Nº 159, 1984)

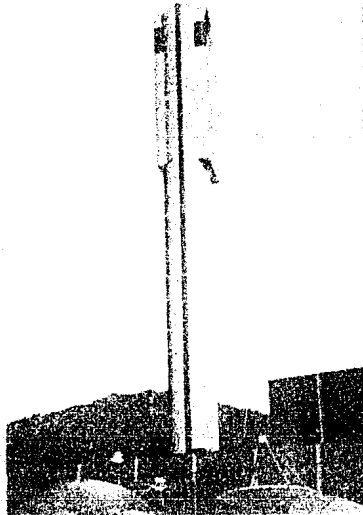
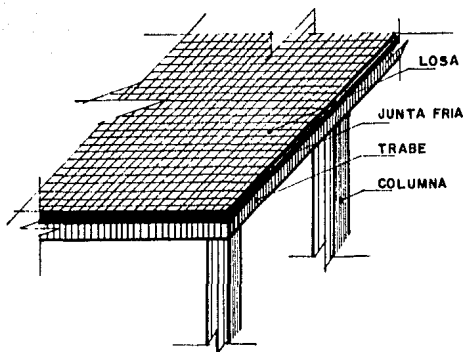
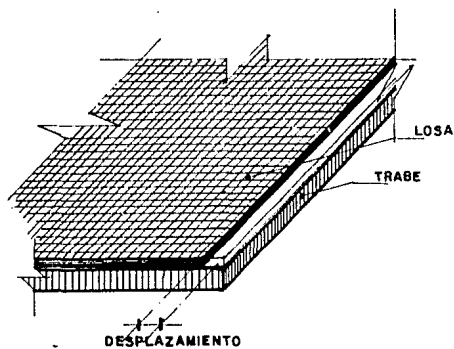


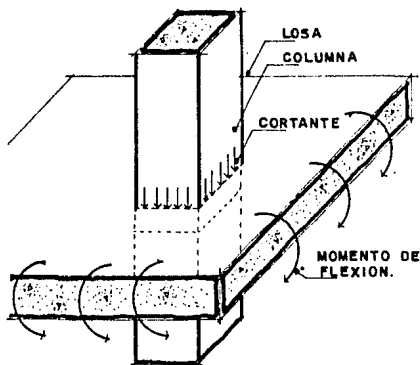
FIGURA 5.5



Una de las hipótesis que se hace en el análisis sísmico de edificios, es que las losas trabajan como diafragmas rígidos horizontales, con la mayor concentración de cargas o masas en su plano, estas distribuyen las fuerzas sísmicas a los elementos portantes (columnas y muros).

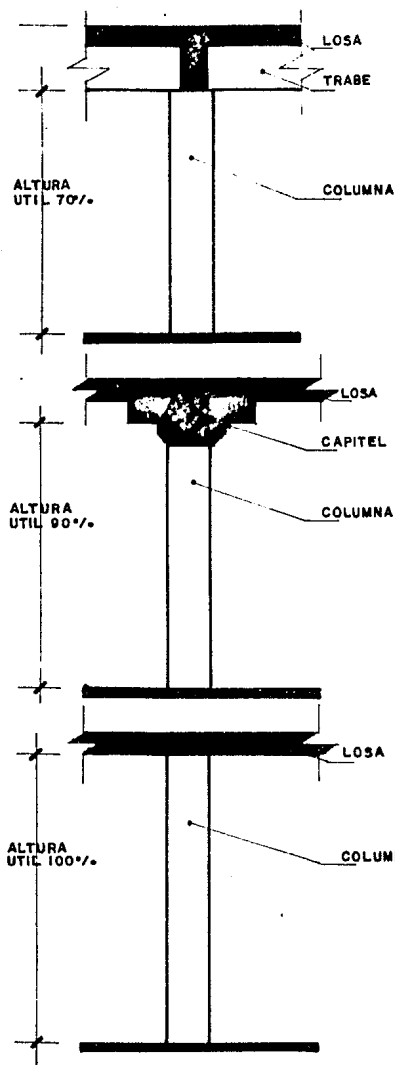


Si por defectos constructivos se dejan juntas frías entre la losa y las trabes, no se cumple el comportamiento previsto en el análisis sísmico. Es probable que una fuerza sísmica suficientemente grande produzca el desplazamiento de la losa y por lo menos, la inutilidad de las condiciones de servicio del edificio.



Otro aspecto importante en el diseño de losas es garantizar que la transmisión de cortantes y momentos flexionantes de la columna a la losa y viceversa, sea adecuada y no produzca fallas por punzonamiento.

FIGURA 5.6.



### TRABE Y LOSA

El uso de trabes y losas tradicionales es lo más recomendable en zonas sísmicas por la seguridad que implican en el cumplimiento de las hipótesis para su diseño. Tienen la desventaja de dar alturas libres menores que otros sistemas de techo y requerir mayor elaboración en los procesos constructivos.

### LOSA PLANA

El capital de las losas planas disminuye considerablemente la rigidez de la estructura, además de requerir detallados constructivos especiales y costosos. No son recomendables en zonas sísmicas.

### PLACA PLANA

Las placas planas aligeradas, tienen grandes ventajas sobre otros sistemas, sin embargo, su uso debe apegarse rigurosamente a las normas de los reglamentos para construcciones, con el objeto de garantizar su buen comportamiento sísmico. Esto no siempre es posible, en cuyo caso, es preferible diseñar losas y trabes.

FIG. 6.7.- TIPOS DE LOSAS



Colapso de un edificio por punzonamiento de losas aligeradas con casetones durante el sismo del 19 de septiembre de 1985, en la Ciudad de México.



Separación de trabe y losa por falta de bastones. La falla se debió a la torsión de la estructura (Referencia 43)

**FIGURA 5.8.**

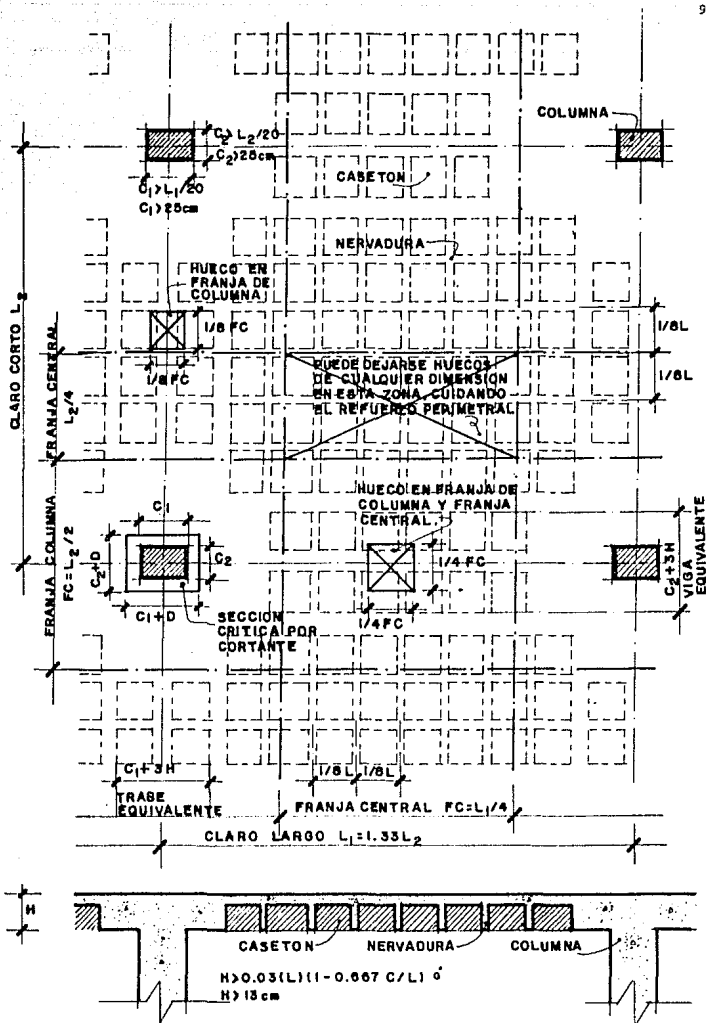


FIG. 5.9.- REQUISITOS DE DISEÑO DE LOSAS PLANAS.

( Ver referencias 35 y 38)

lles constructivos especiales (ver capítulo IX). (fig. 5.8). Tienen, entre otras ventajas, la posibilidad de reducir las alturas de entrepiso, ahorro en los sistemas constructivos y la posibilidad de aligerar su peso mediante casetones de distintos materiales y los ya inusuales tu hos de cartón tipo SONOVOID. (5). En la figura 5.9 se muestran las principales disposiciones - que deben cumplirse para asegurar un buen comportamiento dinámico de éste tipo de losas. (6)

#### 5.4.2.- TRABES Y COLUMNAS.

Las traves y columnas, con una aportación relativa de los diafragmas horizontales - (losas), constituyen los marcos que contribuyen a soportar las cargas verticales de la estructura y soportan las cargas verticales inducidas por excitaciones sísmicas.

En estos elementos, pueden darse básicamente tres tipos de fallas (7):

a) Falla frágil.- se refiere a un tipo de falla repentina, es decir, sin presentar de formaciones visibles que puedan anunciar el colapso del elemento. Se puede dar en dos casos -- (fig. 5.10): Cuando falla el concreto por compresión sin que llegue a fluir el acero de refuerzo, en éste caso se dice que el elemento se encuentra sobreforzado, es decir, cuando hace falta acero de refuerzo, ya sea longitudinal o transversal y; Cuando falla el acero de refuerzo - antes de que el concreto alcance su esfuerzo límite de compresión, osea, cuando existe más can tidad de acero de la necesaria. (Ver capítulo 8). En este caso se dice que el elemento está so brecompensado.

b) Falla dúctil.- Este tipo de falla es el deseable bajo cualquier circunstancia dado que, el elemento considerado, llega al colapso después de deformarse ampliamente, permitiendo percatarse de la falla con un margen relativamente grande de tiempo, como para poder tomar pro videncias adecuadas. En este caso se dice que la falla es balanceada.

Por lo que respecta a estructuras de acero la falla frágil ocurre, prácticamente ha blando, únicamente cuando fallas los elementos de unión, ya sean soldaduras, remaches o tornillos.

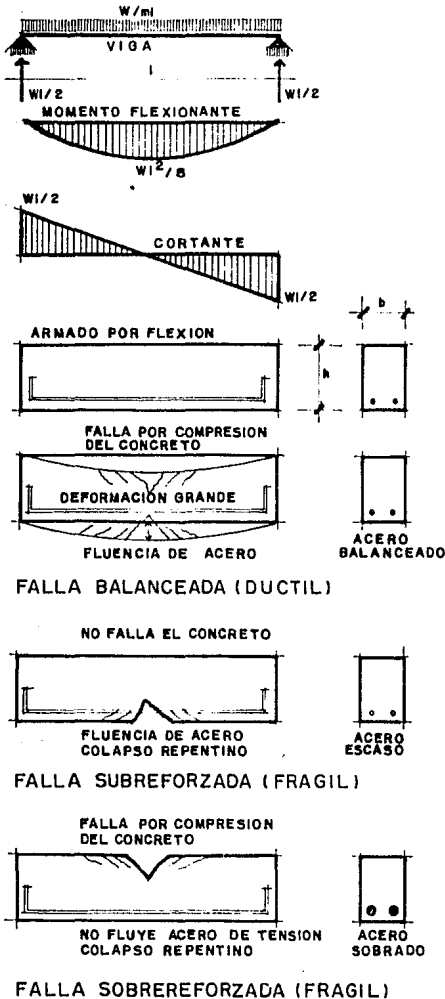
En general, para el diseño de traves y columnas, deben cuidarse los siguientes as- pectos:

a) Las vigas deben fallar antes que las columnas (formación de articulaciones plásticas en traves, primero que en columnas)

b) La falla debe suceder por flexión antes que por cortante, osea, la falla debe ser - dúctil o balanceada.

c) Debe esperarse que falle el propio elemento y no las conexiones.

Para efectos de proyecto arquitectónico, el peralte preliminar de las traves, puede estimarse como 1/12 veces su longitud (8). La estimación de las dimensiones de las columnas es un poco más complicado pues requiere de una preestimación de las bajadas de carga (9).



En el diseño de estructuras deben evitarse los mecanismos de falla frágil pues estos no permiten que los elementos estructurales presenten grandes deformaciones.

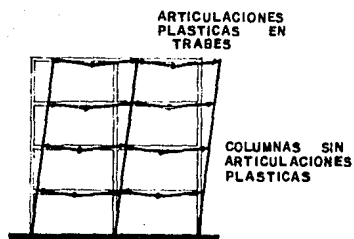
La ductilidad de una estructura, durante un sismo, es de vital importancia pues, en la medida en la que sea más ductil, mayor oportunidad existe de absorber esfuerzos, sin llegar al colapso.

Si los elementos estructurales se diseñan, con porcentajes de acero balanceados, se garantiza que las fallas por tensión y por compresión del elemento, ocurrirán al mismo tiempo, lo cual redonda en su ductilidad.

Es importante que, durante los procesos constructivos, no se cambien las disposiciones marcadas en los planos correspondientes, sin la previa autorización del encargado del diseño estructural.

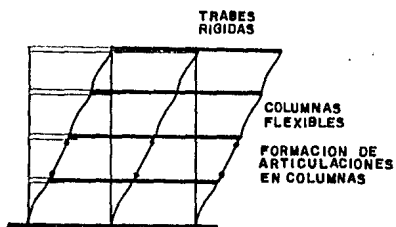
En la figura se muestran los tipos de falla para un elemento sujeto a flexión, sin embargo, éstas también pueden presentarse en flexocompresión y tensión diagonal (cortante)

FIG. 5.10.-FALLA DUCTIL Y FRAGIL.

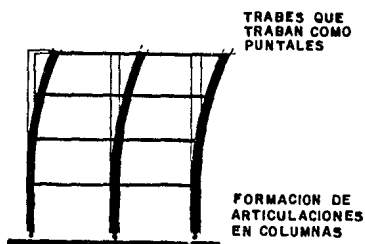


Para conseguir el comportamiento dúctil de la estructura, debe diseñarse de tal forma que se formen articulaciones plásticas en las trabes, antes que en las columnas.

En estructuras de concreto, las articulaciones plásticas se forman al fallar el concreto por compresión, - al mismo tiempo que falla el acero - por tensión.



Si las trabes son mucho más rígidas que las columnas, la estructura en conjunto, trabaja como viga de corralante, esto puede provocar que las columnas fallen en los extremos, lo cual facilita el colapso de algún ó algunos niveles.



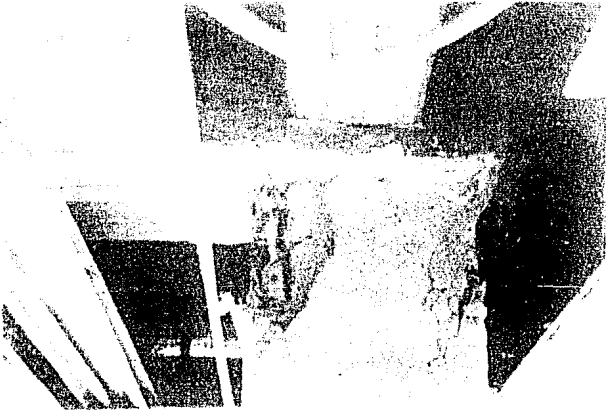
Si, por el contrario, con columnas rígidas, la estructura trabaja como viga de flexión y pueden fallar las bases de las columnas en planta baja, siendo más probable, el derrumbe total del edificio.

FIG. 5.II.- TRABES Y COLUMNAS.





La fotografía de la izquierda, muestra la formación de una articulación plástica en el extremo de la trabe, lo cual es preferible, a la mostrada en la cabeza de la columna de la fotografía inferior.



**FIG. 5.11.-Continuación**

En la figura 5.11 se esquematizan los conceptos anteriores.

#### 5.4.3.- MARCOS, MUROS DE CORTANTE Y CONTRAVIENTOS.

Las principales ventajas de los marcos continuos de concreto reforzado o acero (comunemente llamados Pórticos) son: su fácil diseño y construcción para resistir grandes demandas de ductilidad; pueden distribuir los esfuerzos más uniformemente en toda la estructura y; permiten controlar el escalonamiento de fallas por medio del uso de contravientos y/o muros de cortante adosados a ellos. (10)

Su comportamiento se esquematiza en la figura 5.12.

Además de cuidar los aspectos mencionados en el apartado anterior, deben diseñarse tomando muy en cuenta las distribuciones de rigideces en el efecto de torsión.

#### 5.5.- CONEXIONES ENTRE LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA.

Mencionamos en los capítulos anteriores, que deben diseñarse cuidadosamente los elementos de conexión, pues no tiene sentido emplear elementos fuertes, dúctiles y rígidos, si no se unen adecuadamente. Idealmente, la resistencia de la conexión debe ser mayor que la de los miembros adyacentes y su rigidez debe ser tal, que se puedan mantener sin cambio los ángulos entre los elementos conectados.

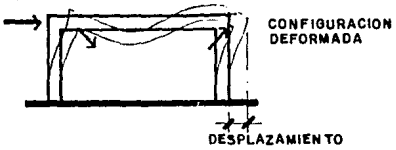
En la figura 5.13 se esquematizan los aspectos más importantes que deben cuidarse al considerar las conexiones.

#### 5.6.- ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.

Durante mucho tiempo, los criterios de diseño sísmico, proporcionaron solo consideraciones limitadas sobre los elementos no estructurales de una construcción. Elementos tales como para-petos, muros divisorios, ornamentaciones y cielos rasos suspendidos, no han sido temas sujetos a consideración en los diseños sísmicos. El gran daño sufrido en los sismos recientes, puso de manifiesto esta circunstancia, especialmente por lo que se refiere a los muros divisorios de mampostería que, sin ser calculados para trabajar en conjunto con la estructura, por procedimientos constructivos aberrantes, en la mayoría de los casos, producen esfuerzos adicionales a la estructura, principalmente con dos consecuencias:

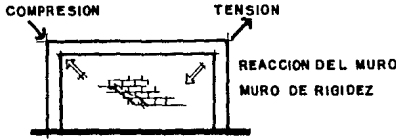
- a) Cambio de los centros de rigideces calculados y;
- b) Acortamiento de columnas no diseñadas para tal efecto, con su consecuente falla por cortante.

En la figura 5.14 se muestran las consecuencias de no diseñar adecuadamente éste tipo de elementos y algunas consideraciones que deben tomarse en cuenta para garantizar un buen comportamiento, tanto de ellos como de la propia estructura.



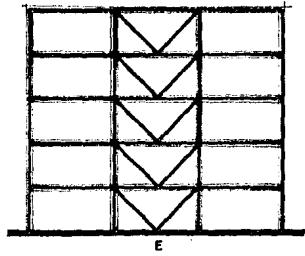
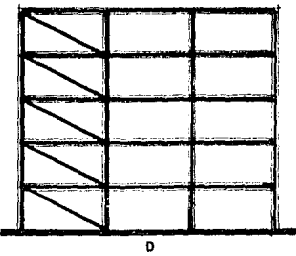
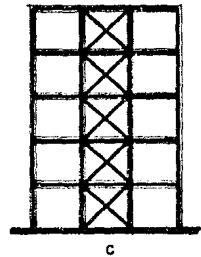
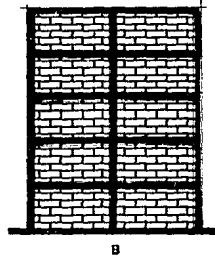
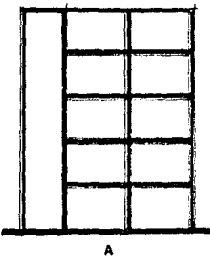
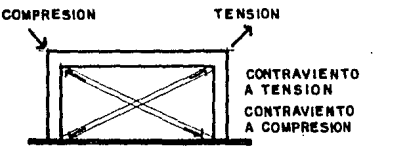
El efecto de fuerzas horizontales aplicadas a un marco, es el de fuerzas de tensión en un lado de él y fuerzas de compresión en el otro.

Si los desplazamientos son demasiado grandes en la cruzija, pueden limitarse, mediante muros de relleno o contravientos, los cuales, deben ser cuidadosamente diseñados, para evitar torsiones en la estructura en conjunto.

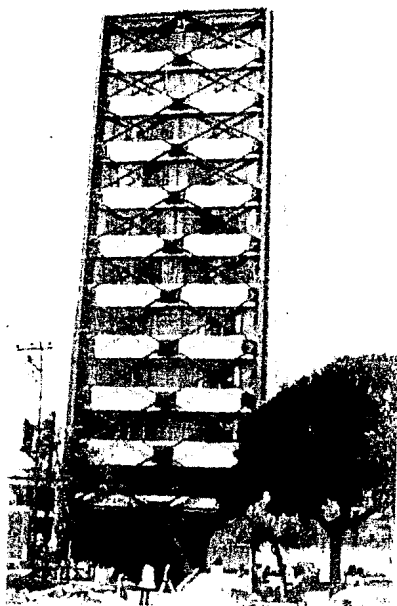


En las figuras inferiores se muestran distintos tipos de elementos rigidizantes:

- Muro de cortante y marcos libres.
- Marcos con paneles de relleno.
- Marcos con contravientos en x
- Marcos con contraviento diagonal (No recomendable por los desplazamientos alternados durante el sismo, éstos trabajan en una sola dirección.)
- Contraviento en K (presentan dificultad en su construcción).



**FIG. 5.12.- MARCOS , MUROS Y CONTRAVIENTOS**



Las fotografías muestran una buena solución de contraventeos que limitan el desplazamiento de la estructura. Note que la planta baja del edificio de la izquierda es flexible, sin embargo, se rigidiza eficazmente con los contravientos. La fotografía inferior muestra un sistema combinado de muros de cortante y contravientos en cruz. (Referencia 43)

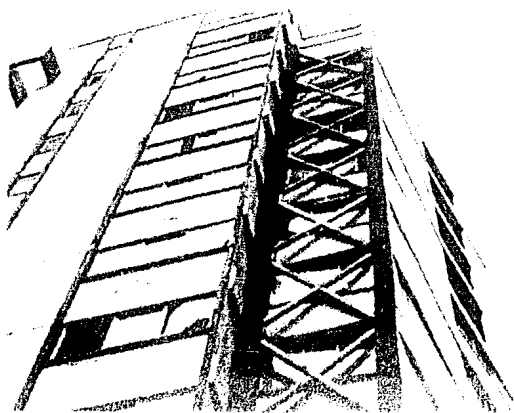
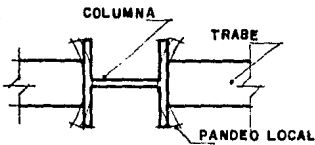
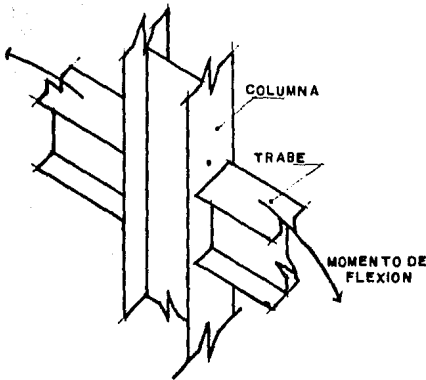


FIG. 5.12.- Continuación.

La figura muestra una conexión trabe-columna, sujeta a flexión, es una estructura de acero. Note la falta de atisadores en el alma de la columna.



La falta de atisadores provoca el pandeo de los patines de la columna y puede producirse falla en la soldadura, además del pandeo local del alma.

En el ejemplo no se consideran los efectos en la trabe, sin embargo en el diseño deben ser cuidadosamente contemplados.

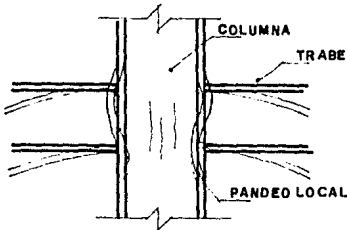
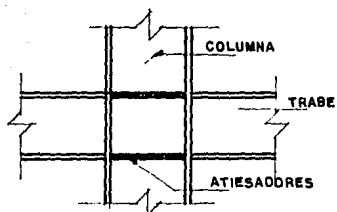
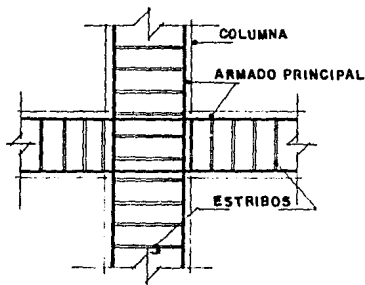
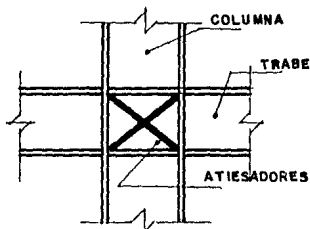
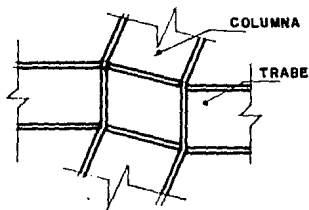


FIG. 5.13.- CONEXIONES.

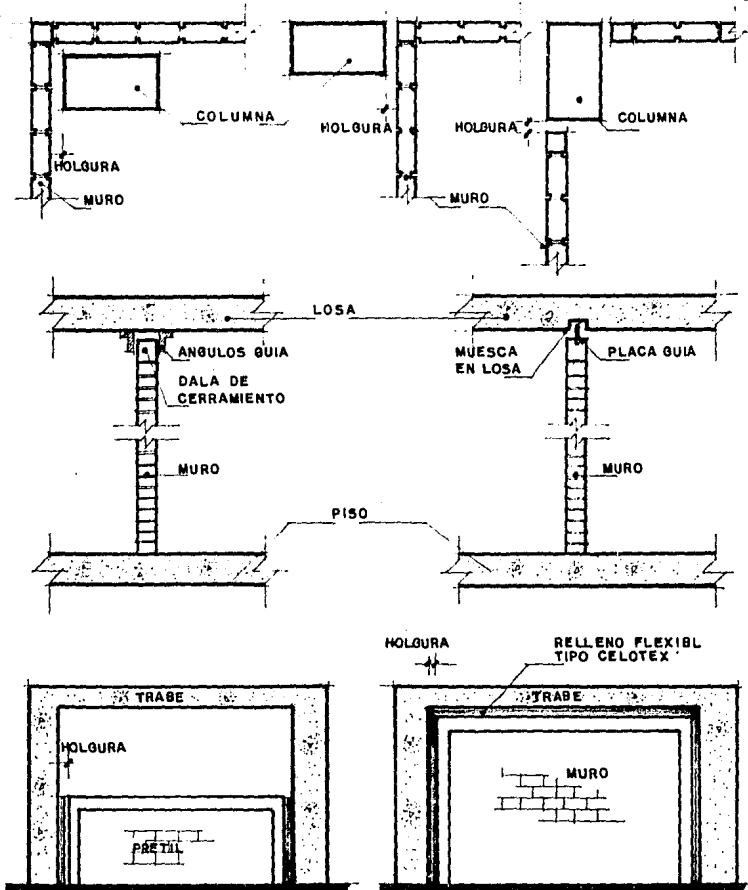


La colaboración de atiesadores horizontales en el alma de la columna, evita el pandeo local y la consiguiente falla de la soldadura, sin embargo, puede producir una gran fuerza cortante en el nodo, como se ve en la figura inferior. Este efecto, puede evitarse colocando atiesadores en cruz o de cortante, como se muestra en la siguiente figura.



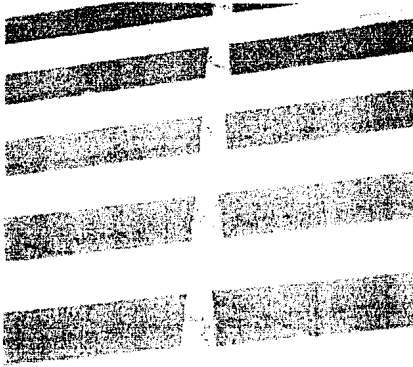
En conexiones de elementos de concreto reforzado, es de suma importancia no interrumpir el armado de estribos de la columna en el nodo de unión. Por otro lado, el refuerzo longitudinal de la columna debe continuar por completo, mientras que, el de la trabe, puede continuarse solo el 33%. El objetivo es lograr un comportamiento columna fuerte-viga débil.

FIG. 5.13.- Continuación.

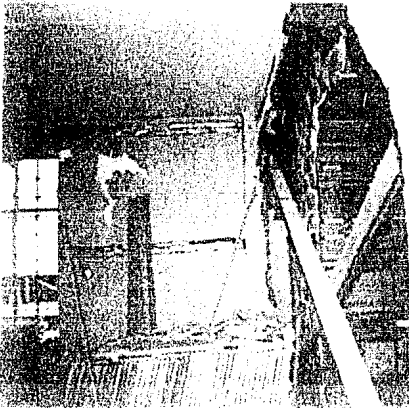


**FIG. 5.14.- MUROS DE RELLENO.**

En la figura se muestran distintas formas recomendables para desligar de la estructura, elementos que no están diseñados para trabajar en conjunto con ella.



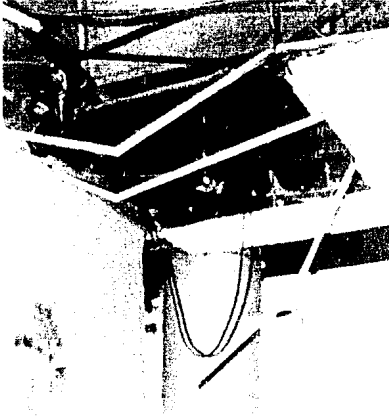
Falla por cortante en columnas acortadas por los pretiles adosados a la estructura, no diseñados para tal efecto.



Falla de muros de relleno por desplazamiento del marco que los limitaba. Note-se que no hay mecanismos preventivos que los desliguen de la estructura.

**FIG. 5.14. - Continuación**





Falla de cielos ra.os por desplazamiento excesivo de la estructura. Note la deformación de las canaletas de carga y la falta de previsión de holguras.



Falla de cancelería de fachades por choque entre los edificios. Note que la cancelería trabajó en conjunto con la estructura.

FIG. 5.14.- Continuacion

#### 5.7.- REDUNDANCIAS EN LA RESISTENCIA ESTRUCTURAL.

Se llama redundancia estructural a los mecanismos que dan escalonamientos en la falla de los edificios. Al respecto, existen dos prácticas esenciales: Proyectar estructuras hiperestáticas que permitan aumentar el comportamiento dúctil de la estructura, o sea, de falla anunciada (fig. 5.15) e; introducir dos sistemas estructurales resistentes y acoplados de alguna forma, por ejemplo, marcos de acero con muros de mampostería adosados a la estructura. En el segundo caso, se debe prever con sumo cuidado que la falla de los muros, previa a la de los marcos, puede en determinado momento, cambiar el centro de rigidez de la estructura en su conjunto y producir efectos de torsión que, en un caso extremo, motive la falla total de la estructura.

#### 5.8.- DUCTILIDAD.

Se dice que un sistema es dúctil, si es capaz de sufrir deformaciones considerables, sin padecer daños excesivos o pérdida de resistencia por aplicación de cargas sucesivas. Así - por ejemplo, una varilla de acero es mucho más dúctil que una de madera o concreto. Puede decirse, por tanto, que la ductilidad es el contrario de la fragilidad.

La ductilidad varía con los materiales usados y la forma de la estructura, principalmente (11). En la figura 5.16 se da una tabla de la variación de la ductilidad en función de éstos factores y en la figura 5.17 se dan algunas recomendaciones sobre el empleo de los materiales en las estructuras.

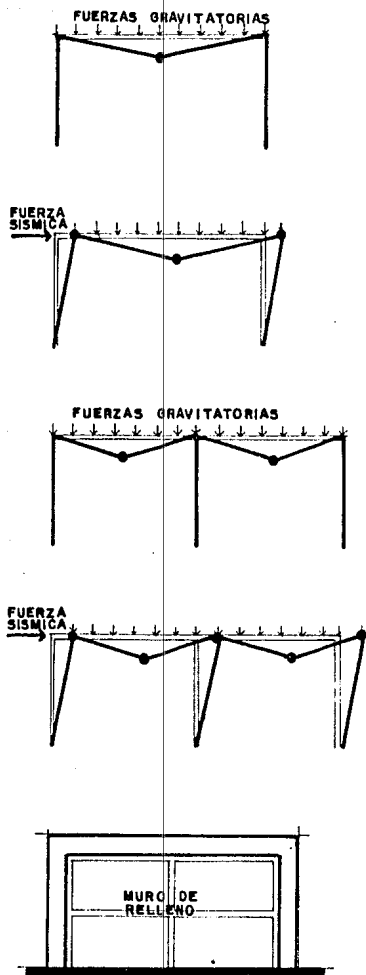


FIG. 5.15.- REDUNDANCIAS ESTRUCTURALES.

Se puede decir que una estructura tiene menos posibilidad de colapsarse, en la medida en la que tenga más elementos resistentes. Por ejemplo:

El marco de la figura superior, requiere la formación de dos articulaciones plásticas para perder su estabilidad, en tanto que, el marco de la figura central, requiere de, por lo menos, cuatro.

Podemos deducir que, una buena medida para asegurar la sobrevivencia de una estructura durante un sismo, es diseñarla con el mayor número de elementos resistentes que sean posibles, o sea, diseñar estructuras hiperestáticas.

Otra buena medida es la de diseñar sistemas escalonados de falla, por ejemplo, introduciendo muros de relleno que absorban los desplazamientos iniciales durante el sismo y absorban parte de la energía, de tal forma que, al fallar éstos, trabaje adecuadamente la estructura libre. Debe tenerse cuidado con estos sistemas pues no siempre es posible garantizar que no se producirán torsiones adicionales a la estructura.

DUCTILIDAD	TIPO DE ESTRUCTURA
DUCTIL	MARCOS DE ACERO SOLDADOS CON TODOS LOS MUROS SEPARADOS DE LA ESTRUCTURA.
	MARCOS DE ACERO APERNADOS O SOLDADOS CON MUROS PERIFERICOS ADOSADOS A LA ESTRUCTURA Y MUROS INTERNOS SEPARADOS
	MARCOS DE ACERO CON MUROS DE CORTANTE DE CONCRETO.
	MARCOS DE CONCRETO CON TODOS LOS MUROS SEPARADOS DE LA ESTRUCTURA.
	MARCOS DE CONCRETO CON LOS MUROS PERIFERICOS ADOSADOS A LA ESTRUCTURA Y MUROS INTERIORES SEPARADOS.
RIGIDA	CONSTRUCCIONES CON MUROS DE CARGA COMO ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRINCIPALES.

FIG. 5.16.- DUCTILIDAD.

(Ver referencia 21)

	TIPO DE EDIFICIO		
	DE GRAN ALTURA	DE MEDIANA ALTURA	DE BAJA ALTURA
MEJOR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ACERO</li> <li>• CONCRETO REFORZADO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ACERO</li> <li>• CONCRETO REFORZADO</li> <li>• CONCRETO PRE ò POSTENSADO</li> <li>• MAMPOSTERIA REFORZADA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MADERA *</li> <li>• CONCRETO REFORZADO</li> <li>• ACERO</li> <li>• CONCRETO PRE ò POSTENSADO</li> <li>• MAMPOSTERIA REFORZADA.</li> </ul>
PEOR			

\* Únicamente en zonas donde se produce con buena calidad.

FIG. 5.17.- ELECCION DEL TIPO DE MATERIALES.

(Ver referencia 21)

## REFERENCIAS DEL CAPITULO V.

- ( 1 ) JOSE LUIS CALDERON,- Cátedra UNAM
- ( 2 ) SALOMON ROJAS A.- Cátedra UNAM
- ( 3 ) Referencia 21, p.p. 95-209
- ( 4 ) Referencia 8, p.p. 1-6
- ( 5 ) Referencia 8
- ( 6 ) Referencia 58
- ( 7 ) Referencia 65
- ( 8 ) Referencia 54 pág. 389
- ( 9 ) Referencia 53
- (10) Referencia 74
- (11) Referencia 21, p.p. 102-120
- (12) Referencia 18
- (13) Referencia 20
- (14) Referencia 57
- (15) Referencia 51
- (16) Referencia 6
- (17) Referencia 10
- (18) Referencia 23



**VI**

**CAPITULO**



## VI.- LA ALTURA Y RESONANCIA.

### 6.1.- INTRODUCCION.

Para hablar de la altura de un edificio, es necesario referirnos a su relación de esbeltez, o sea a la relación que guarda la altura respecto a la base. La esbeltez excesiva de un edificio (relaciones de altura 3 ó 4 veces mayores que la dimensión de la base) (1) ocasiona complicaciones en el análisis y diseño estructurales, pues es necesario tomar en cuenta métodos dinámicos complejos. Produce también complicaciones en los procedimientos constructivos. Sin embargo no puede generalizarse que los edificios altos tengan malos comportamientos sísmicos.

Haciendo una revisión de las estadísticas de edificios gravemente dañados o colapsados durante los sismos del 19 y 20 de septiembre de 1985 en la Cd. de México (fig.6.1) (2) (3), podemos notar que el mayor porcentaje de fallas se dió en edificios de más de 6 pisos. Por otro lado, Tadao Minami y Toshihide Kashima (4) relacionan períodos fundamentales de vibración de 0.8 a 3 seg. para éste tipo de edificios (fig. 6.2), mientras que para la zona más dañada durante éste sismo, se registraron períodos dominantes del suelo del orden de los 2 seg. (fig-6.3) (5) y por último, también durante éste sismo, se observaron comportamientos satisfactorios de algunos edificios altos, tales como la Torre Latino Americana que tiene un período fundamental del orden de los 3 seg. o la Torre de Mexicana ubicada en suelo con período dominante corto (del orden de 1 seg.). Podemos concluir que, sin que ésto signifique una generalización, asociada a la falla de edificios esbeltos puede estar la amplificación de efectos sísmicos por acompasamiento de ondas o resonancia, como veremos más adelante.

### 6.2.- LA RELACION DE ESBELTEZ.

De acuerdo a la relación de esbeltez, pueden esperarse dos tipos de comportamiento dinámico de los edificios: como vigas de cortante, si su relación de esbeltez es menos de 3 ó 4 y; como vigas de flexión si es mayor de 4. (6)

En el primer caso, la principal fuerza inducida a los elementos de carga vertical, (columnas o muros) es de cortante. La figura 6.4 muestra éste comportamiento.

En los edificios que trabajan como vigas flexibles (fig. 6.5), además de la fuerza cortante, se producen importantes fuerzas axiales, de tensión y compresión alternadas, sobre todo en los elementos de carga vertical localizados en los exteriores.

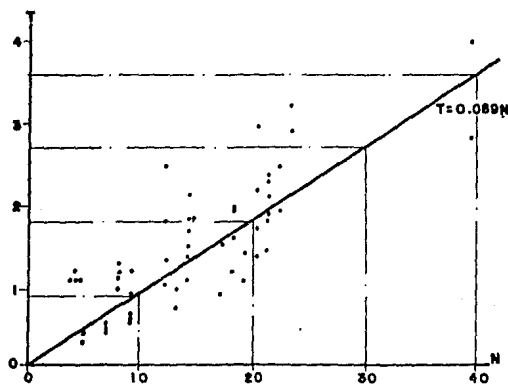
Además, la deformación axial en columnas de estructuras a base de marcos, puede llegar a producir que el cortante en las trabes se vea incrementado, sobre todo de los extremos hacia el centro del marco. (8)

Otro aspecto importante que se relaciona con la altura de los edificios es que, por economía constructiva, se reducen las secciones de los elementos superiores, aspecto que se analiza en el capítulo siguiente.

NUMERO PISOS	PORCENTAJE COLAPSO O DAÑO GRAVE
1 - 2	0.9
3 - 5	1.3
6 - 8	8.4
9 - 12	13.6
> 12	10.5
TOTAL	1.4

**FIGURA 6.1**

Estadística de daños graves o colapsos en edificios, durante los sismos del 19 y 20 de Septiembre de 1985, en la Cd. de México.



**FIGURA 6.2**

Relación entre el período fundamental de vibración y el número de pisos de edificios con estructura de concreto armado. T es el período fundamental en segundos y N es el número de pisos (gráfica tomada de la Referencia 49)



TIPO DE SUELO	PERIODO DOMINANTE PRINCIPAL SEG.	ACELERACION G
ROCA	$< 0.5$	0.01
FIRME	$< 1.0$	0.04
TRANSICION	$\approx 1.0$	$\approx 0.11$
LECHO DE LAGO CENTRO	2.0	0.20
LECHO DE LAGO TEXCOCO	30-40	$< 0.10$

FIGURA 6.3

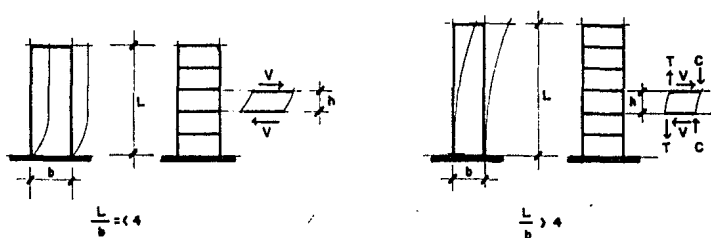


FIGURA 6.4.

FIGURA 6.5

Figura 6.3.- Períodos dominantes y aceleraciones máximas en distintos tipos de suelo, medidos durante los sismos del 19 y 20 de septiembre de 1985 en la Cd. de México. (tomado de la referencia 68)

Figura 6.4.- Cuando la relación altura/base de un edificio es menor que cuatro, trabaja como viga de cortante. En la figura "V" es la fuerza cortante que se transmite a los elementos portantes (columnas y/o muros) y "h" es la altura de entrepiso.

Figura 6.5.- Si la relación de esbeltez excede de 4, el edificio trabaja como viga de flexión, lo cual induce a las columnas y/o muros, fuerzas de tensión y compresión adicionales. En la figura "T" es una fuerza axial de tensión, "C" es una fuerza de compresión y "V" es la fuerza cortante.

### 6.3.- RESONANCIA O ACOMPAÑAMIENTO DE ONDAS.

Para facilitar la comprensión de la resonancia de estructuras, realice un simple experimento: Sobre una superficie con rodillos empotre un alambre flexible de acero, de 20 cm. de longitud y un diámetro de 1/8" con una masa en la punta, por ejemplo, una tuerca de 1", como se muestra en la figura 6.8. Haga oscilar el péndulo con movimientos alternados en la base durante aproximadamente 1 seg. Si Ud. deja de mover la base, podrá observar que el péndulo continúa oscilando algún tiempo, hasta que se detiene. Ahora bien, si hace coincidir el movimiento de la mano con el del péndulo, notará que la amplitud de su desplazamiento se va incrementando paulativamente, pudiendo llegar a dos casos extremos: que el péndulo oscile hasta golpear la masa con la base ó se doble el alambre.

El fenómeno que sucede en la resonancia es que, a la fuerza debida a la inercia de la masa, se suma la fuerza de la excitación de la base, amplificando el desplazamiento (fig. 6.9)

Este fenómeno puede ocurrirle a las estructuras cuando los períodos de vibración del suelo y la estructura son coincidentes, como vimos en el capítulo 4.4 (fig.6.6)

Para predecir el período fundamental de vibración de un edificio debe considerarse que durante el sismo, pueden producirse fallas en los elementos resistentes: Articulaciones plásticas en trabes o columnas o agrietamientos de muros de carga o relleno adosados a la estructura. Esto provocará que la estructura incremente su período natural (7)

Para efectos de proyecto Arquitectónico, éste período puede estimarse multiplicando el número de pisos por un factor de .089, osea (4):

$$T = .089 N$$

donde: T es el período fundamental en segundos; N es el número de pisos.

### 6.4.- PREVENCIÓN DE LA RESONANCIA.

La primera recomendación que puede hacerse, al referirnos a la resonancia de estructuras, y al parecer, la más sensata es que las estructuras rígidas deben construirse en suelos blandos y los edificios flexibles, en suelos firmes. Esto, de una manera casi efectiva, evitará la amplificación de efectos sísmicos por acompañamiento de ondas. (fig.6.10). En todo caso, deben considerarse los períodos, fundamental y dominante, de la estructura y el suelo respectivamente, evitando su coincidencia o aproximación dejando un amplio rango de seguridad, por ejemplo:  $T_e \approx 2 T_s$  ó  $T_e \approx 0.5 T_s$ , osea, si se proyecta en un suelo con período dominante de 2 seg., lo recomendable sería que, nuestro edificio, tuviera un período fundamental de 1 seg. o de 3 o 4 seg. Si eligieramos una estructura con período de 1.5 seg., por ejemplo, sería probable que en un sismo intenso, al producirse fallas en los elementos resistentes, éste período se hiciera más cercano a los dos segundos, con las consecuencias que ya mencionamos.

Falla típica de una columna por cortante. La fotografía corresponde a un edificio en esquina, que sufrió torsión excesiva. -- (Referencia 43)



Edificio del conjunto Pinosuárez - que entró en vibración armónica. - Su período natural de vibración -- era de 2 seg. (Referencia 68)

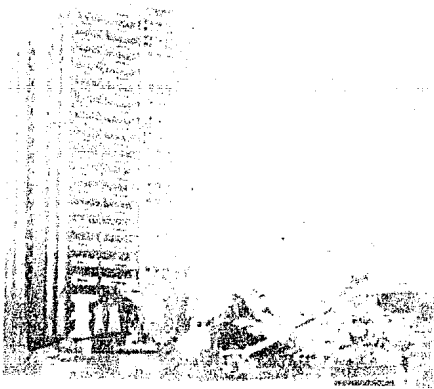


FIGURA 6.6



**FIGURA 6.7**

La fotografía muestra una falla típica por compresión en una columna de planta baja. La columna corresponde a un edificio con planta baja flexible, ubicada en el extremo de la fachada principal (Referencia 43)

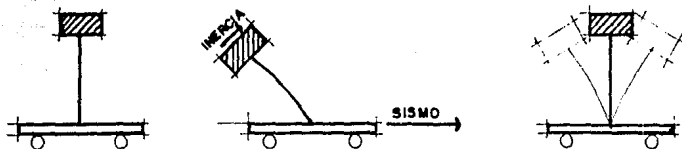


FIGURA 6.8

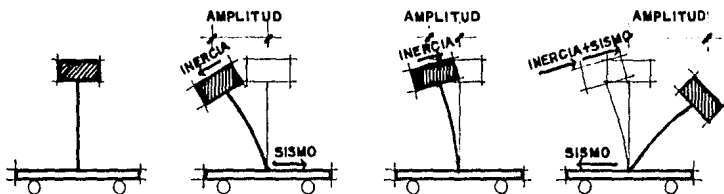


FIGURA 6.9

La Resonancia o vibración armónica se produce cuando existe acopamiento entre el desplazamiento del suelo y el de la estructura, esto provoca que se sumen las fuerzas sísmicas con las fuerzas de inercia y se produzca una amplificación de los efectos dinámicos de la estructura.

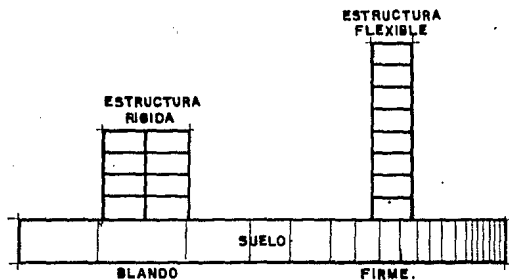


FIGURA 6.10

La principal recomendación que puede hacerse, para evitar la amplificación de los efectos sísmicos en los edificios, es que las estructuras rígidas, se construyan en suelos blandos, mientras que, las estructuras flexibles, se proyecten en suelos firmes. Esto evita el acopamiento de ondas.

Ahora bien, si por restricciones propias del proyecto arquitectónico, se prevé que el edificio tenga un período cercano al del suelo, pueden considerarse dos soluciones:

- a) Diseñar una estructura muy flexible que aumente el período natural, lo cual no siempre será posible por los tipos de materiales constructivos y, sobre todo, porque deben tomarse en cuenta los desplazamientos horizontales que pudiera llegar a tener una estructura demasiado flexible, además de las consideraciones hechas en el capítulo 6.2
- b) Rigidizar la estructura mediante contraventeos o muros de cortante adosados a la estructura, en cuyo caso, deberá cuidarse que la distribución de rigideces no produzca grandes excentricidades, tal como se menciona en el capítulo 2.5.

#### 6.5.- CASO DE RESONANCIA. ESTUDIO DE UN EDIFICIO CON ESTRUCTURA DE CONCRETO.

##### 6.5.1.- ANTECEDENTES.

Durante los sismos del 19 y 20 de septiembre de 1985, en la Cd. de México, hubieron varios casos de resonancia en edificios, uno de éstos fué el edificio ubicado en las calles de Isabel la Católica y Uruguay. El caso fué estudiado por el grupo CYCA, bajo la dirección del Arq. Jorge Fernández Varela, con cuya autorización se reproducen aquí, a manera de resumen, las partes más relevantes de él; con el objetivo de ejemplificar con un caso real, los principales factores que provocaron la resonancia y sus consecuentes efectos. (9)

##### 6.5.2.- PROCEDIMIENTO.

El estudio de éste caso fué realizado mediante el siguiente procedimiento (ver capítulo 3.8):

- 1.- Inspección en sitio.
- 2.- Revisión de las condiciones de servicio.
- 3.- Ensayo de muestras.
- 4.- Revisión con los reglamentos para construcciones correspondientes al año de 1976 y las normas de emergencia de 1985.
- 5.- Análisis Sísmico estático y Dinámico.
- 6.- Estudio de la resonancia.
- 7.- Cálculo de elementos mecánicos.
- 8.- Cálculo de las capacidades últimas.
- 9.- Cálculo de fuerzas cortantes de fluencia.
- 10.- Elaboración de conclusiones.

#### 6.5.3.- DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA ORIGINAL.

El edificio está ubicado en la Zona III, suelo compresible, según clasificación de suelos en el Distrito Federal. Consta de dos sótanos bajo el nivel natural del terreno, un mezzanine, diez niveles destinados a oficinas, un nivel de azoteas generales y dos niveles más correspondientes a cuartos de máquinas y cubierta de los núcleos de circulaciones verticales. En total dos sótanos y catorce niveles. (fig 6.11)

La estructura es de concreto reforzado resuelta mediante marcos en las dos direcciones principales y losas macizas con trabes secundarias de concreto reforzado, constituyendo -- diafragmas horizontales rígidos lo cual hace efectiva la transmisión de cortantes sísmicos. -- (Ver capítulo 5.3)

Todos los elementos divisorios interiores y la cancelería de fachada no interfieren con la rigidez de la estructura por no estar íntimamente ligados a ella o ser de tipo ligero.

La cimentación se resolvió mediante la compensación casi completa de las cargas, -- consiguiéndose un empotramiento de la estructura de 9.5 m.

#### 6.5.4.- ESTADO DE LA ESTRUCTURA DESPUES DEL SISMO.

El edificio sufrió el derrumbe total de los pisos a partir del nivel 5 y fallas de magnitud variable en los pisos restantes (fig. 6.11)

La losa del nivel 5 presenta deformaciones considerables; las columnas que la soportan muestran agrietamientos diagonales considerables. Estos defectos debieron incrementarse al recibir el impacto causado por el derrumbe de edificios superiores.

Entre los niveles 2 y 4, la magnitud de daños es intermedia; las grietas diagonales en columnas tienen anchos del orden de 0.6 mm.

En los niveles 0 al 1, los daños son ligeros. Se aprecian algunas grietas en los recubrimientos de mármol de las columnas.

No existen daños visibles en los dos sótanos que se puedan atribuir al temblor.

En todos los niveles, la magnitud en trabes es considerablemente mayor que los observados en columnas. Prácticamente todas las fallas en columnas son por tensión diagonal. Los mayores daños corresponden a las columnas del eje central. También hay evidencias de fluencia -- del refuerzo transversal en columnas, incluyendo fractura de estribos acompañadas de aplastamiento del concreto, desprendimientos y pandeo del refuerzo longitudinal.

En muros de block no estructurales se observaron juntas de celotex que, dada la magnitud de los desplazamientos; fueron insuficientes, sin embargo, son indicativos de una buena práctica profesional durante la construcción.

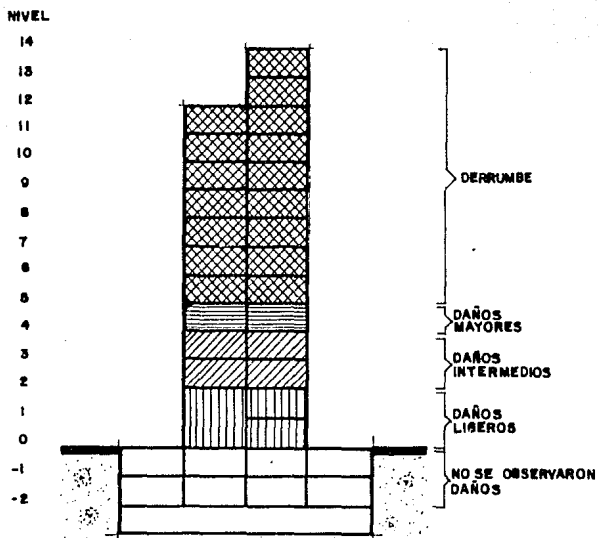
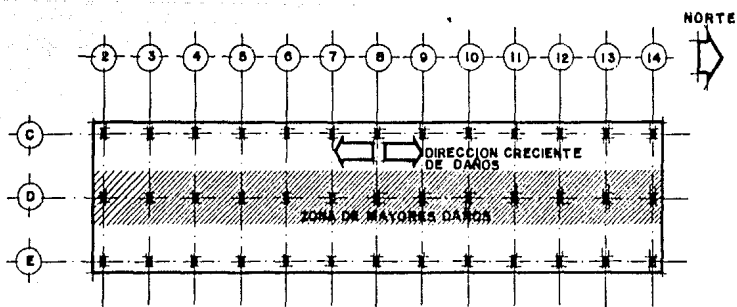


FIGURA 6.11

Grabado reproducido con autorización del Arq. Jorge Fernández V.



#### 6.5.5.- CONCLUSIONES.

Con el carácter de resúmen, se reproducen las conclusiones más relevantes implícitas en el estudio.

- 1.- El diseño estructural del edificio cumple con los requisitos dispuestos con el reglamento vigente en la época.
- 2.- El período fundamental de la estructura resultó de 1.91 seg., en tanto que el período dominante del suelo fué de 2 segundos con casi 11 oscilaciones completas, lo cual dió tiempo suficiente para que la estructura quedara muy próxima a al condición de resonancia.
- 3.- Por lo anterior, la estructura se vió sometida a aceleraciones del orden de 3.3 veces mayores que las especificadas para el reglamento de 1961. (fig. 6.12)
- 4.- El mecanismo de falla debió originarse en las columnas a lo largo del eje central y particularmente en sus extremos.

A fin de evitar la inestabilidad de la estructura, debe evitarse que la falla ocurra primero en las trabes que en las columnas (formación de articulaciones plásticas en trabes). (ver capítulo 5).

- 5.- Los recubrimientos de elementos estructurales (aplanados hasta de 3 ó 4 cm y mármol) pudieron dar cierta rigidez pero únicamente en los primeros momentos del temblor dado su posterior agrietamiento.

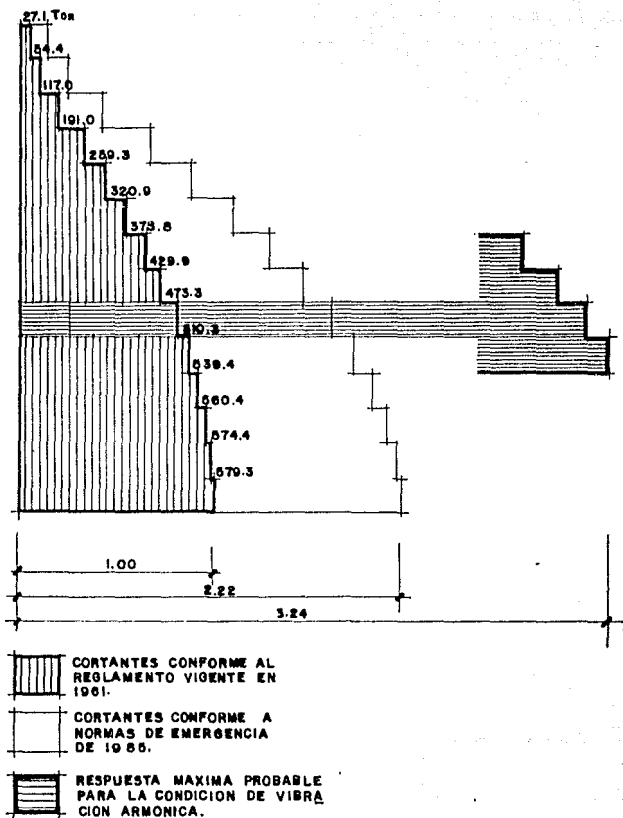
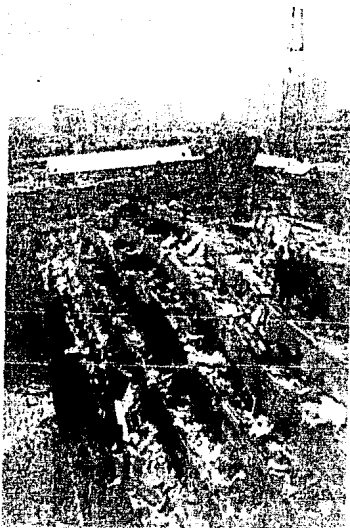
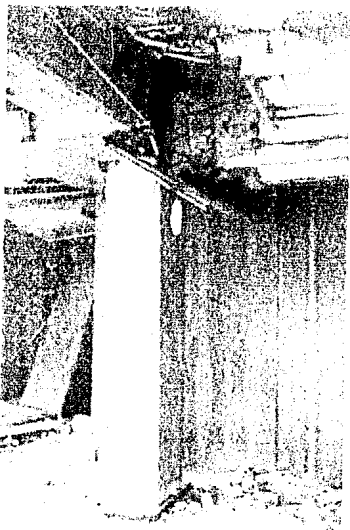


FIGURA 6.12

Grabado reproducido con autorización del Arq. Jorge Fernández Varela.



Estado exterior del edificio después del -  
sismo. Notese el desplazamiento de las lo--  
sas debido al efecto P-delta (excentricidad  
de cargas gravitacionales, durante el com--  
portamiento dinámico de la estructural  
(Referencia 27)



Formación de articulaciones plásticas en -  
trabes.

FIGURA 6.13



Fotografía superior: Falla por compresión de la columna, probablemente debida al impacto producido por el colapso de pisos superiores.

Fotografía inferior: Estado exterior del edificio después del retiro de escombros. Actualmente presenta problemas de emersión por subcompensación de cargas en la cimentación al retirarse los pisos superiores. (Referencia 27)

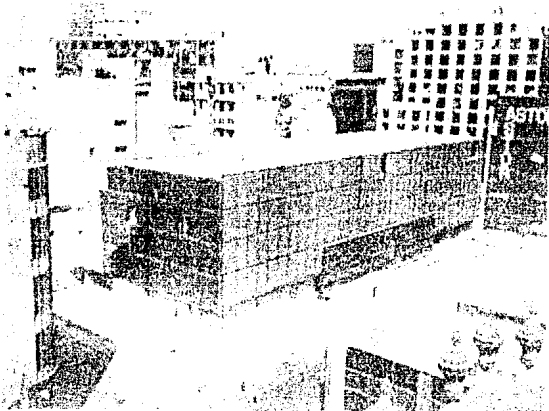


FIGURA 6.14

## REFERENCIAS DEL CAPITULO VI.

- ( 1 ) Referencia 21, pág. 96, op. cit.
- ( 2 ) Referencia 77, pág. 22, op. cit.
- ( 3 ) Referencia 17, pág. 93, op. cit.
- ( 4 ) Referencia 49, pág. 367, op. cit.
- ( 5 ) Referencia 47, op. cit.
- ( 6 ) Referencia 23, pág. 80, op. cit.
- ( 7 ) Referencia 68, p.p. 113-134, op. cit.
- ( 8 ) Referencia 27, p.p. 6-7, op. cit.
- ( 9 ) Referencia 27, op. cit.

III CAPITULO VII

## VII.- LA SIMETRÍA, TORSIÓN Y VOLTEO .

### 7.1.- INTRODUCCION.

El arte del diseño antisísmico, no consiste sólo en crear estructuras capaces de resistir un conjunto dado de cargas laterales, aunque tal capacidad, es parte de un buen diseño. Implica más bien, producir sistemas caracterizados por una combinación óptima de propiedades, tales como resistencia, rigidez y capacidad de absorber energía y de deformarse dúctilmente. - Esto les permitirá responder a sismos frecuentes, de intensidad moderada, sin sufrir daños serios, y, a sismos excepcionales, de gran severidad, sin poner en peligro su estabilidad, su contenido o a sus ocupantes. Lograr este propósito implica mucho más que la mera aplicación de especificaciones; exige un entendimiento de los factores básicos que determinan la respuesta sísmica de las estructuras así como ingenio para crear proyectos con las propiedades requeridas.

Es frecuente, en la práctica, que la mayoría del tiempo que se dedica al diseño estructural de un edificio se invierta en los procesos de análisis y diseño, y que se examinen con brevedad los aspectos de diseño conceptual y de estructuración. Desde el punto de vista del diseño sísmico, esta costumbre es particularmente peligrosa puesto que no se puede lograr que un edificio mal estructurado, se comporte satisfactoriamente ante sismos, por mucho que se refinen los procedimientos de análisis y dimensionamiento. Por el contrario, la experiencia obtenida en varios temblores muestra que, los edificios bien concebidos desde el proyecto arquitectónico y bien detallados han tenido un comportamiento adecuado, aunque no hayan sido objeto de cálculos elaborados, y, en ocasiones, aunque no hayan satisfecho los reglamentos.

Una buena práctica en el proyecto arquitectónico, es la de buscar que la estructura del edificio sea sencilla y simétrica. Existen diversas razones para buscar la sencillez en la estructuración. En primer lugar se entiende mejor el comportamiento sísmico global, con respecto al de una estructura completa, en segundo lugar es más fácil preparar, dibujar, entender y construir detalles estructurales. Además, la falta de regularidad del proyecto da lugar, generalmente, a falta de simetría, ya sea en masas, rigideces o resistencias y produce efectos de torsión difíciles de evaluar con precisión y, en el caso de sismos intensos, hace que las deformaciones inelásticas se concentren en ciertas zonas, las más débiles, produciendo daños que pueden ser muy apreciables.

Las ventajas, de eliminar la torsión y lograr estructuraciones sensiblemente simétricas son tanto mayores cuanto más alto sea el edificio. Ello obedece a que las amplificaciones dinámicas de los efectos de torsión son más importantes en estructuras flexibles y existe menor posibilidad de que sean limitadas por absorción de energía en el intervalo inelástico.

Un sismo revelará inexorablemente cualquier debilidad estructural, reconocido o no previamente. A continuación se describen características que, según la experiencia adquirida del estudio de los efectos de sismos intensos en edificios, son recomendables para lograr un comportamiento satisfactorio. (1)

#### 7.2.- SIMETRÍA EN PLANTA.

Las nuevas disposiciones del reglamento de construcciones para el D.F., restringen la excentricidad de las estructuras en planta a no más del 20% de la longitud del lado que se analiza (fig. 7.1). Con esto puede asegurarse más fácilmente que el comportamiento del edificio no verá incrementados sus esfuerzos por efectos de torsión.

Esto puede conseguirse proyectando plantas simétricas. La simetría en planta se refiere principalmente a tres aspectos:

- a) Simetría en las masas
- b) Simetría en las rigideces
- c) Simetría en las resistencias

Los distintos efectos que pueden causar las plantas asimétricas, sea cual fuere el caso, se muestran gráficamente en las figuras 7.2. En la figura 7.3 se muestran algunas distribuciones de rigideces recomendables para evitar torsiones del edificio.

#### 7.3.- LONGITUD Y ANCHO

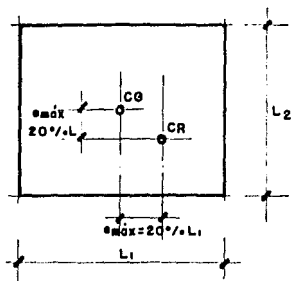
Es recomendable procurar que las plantas no sean muy alargadas; mientras mayor sea la dimensión, mayor es la probabilidad de que ocurran, sobre el edificio, movimientos que difieran de un extremo al otro, lo cual es opuesto a la suposición usual del análisis sísmico y pueden producirse efectos perjudiciales. Se sugiere, en casos extremos, juntas que dividan al edificio en secciones menos alargadas y lo más simétricas posible. En éste caso, debe tenerse mucho cuidado en su diseño, considerando que pueden existir choques entre los cuerpos adyacentes.

Respecto a la separación que deben guardar los edificios adyacentes, debe cumplirse con la mayor de las siguientes solicitaciones (fig. 7.4)

- a) Mínimo 5 cm.
- b) El desplazamiento total acumulado, de todos los niveles sobre el nivel de banquetta - más el 2 al millar de la altura total  $\delta$ ;
- c) El 8 al millar de la altura total en el caso de no haberse calculado los desplazamientos horizontales.

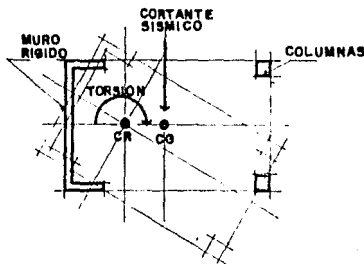
Para efectos de proyecto arquitectónico, es recomendable tomar como separación a colindancias, la mayor de las solicitaciones entra a y c.



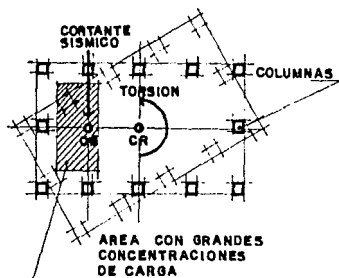


Excentricidad máxima permisible por el reg<sup>l</sup>a mento para construcciones del D.F. vigente a la fecha (Referencia 38)

FIG. 7.1.-EXCENTRICIDAD

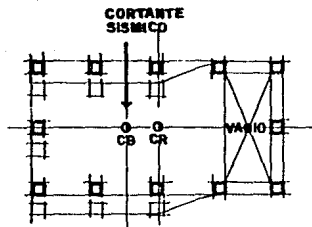


Las columnas más alejadas del centro de rigidez, se ven sujetas a desplazamientos de severidad, por efecto del momento torsionante. Esto produce fuerzas cortantes adicionales a estos elementos.

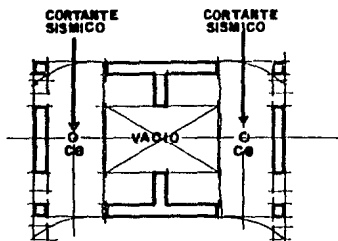


En éste caso, las columnas se verán sujetas a fuerza cortante directa, producto de la fuerza sísmica y además, sufrirán el cortante provocado por el momento torsionante, debido a la excentricidad de las masas respecto al centro de rigidez.

FIG. 7.2.-TORSION



La zona de piso rígido, es la que toma la mayor cantidad de la fuerza sísmica inducida, esto motiva que las columnas ubicadas en esta zona estén sujetas a solicitaciones mayores. Aunado a lo anterior, es evidente que se genera una excentricidad de masas y su consecuente torsión.



Dos zonas de masa, unidas por elementos con poca rigidez debida al vacío central, aumentan la probabilidad de falla por corte o seccionamiento de la losa a lo largo de los ejes más frágiles.

FIG. 7.2. - Continuación

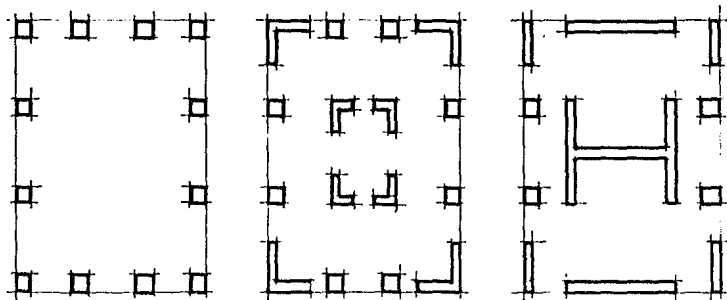
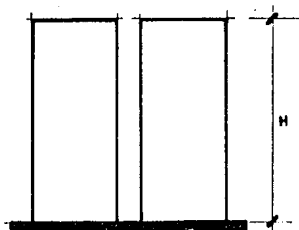


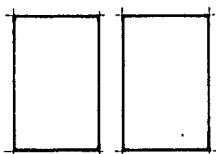
FIGURA 7.3

Una buena práctica para evitar excentricidades y concentraciones inapropiadas de rigideces, es la de buscar estructuraciones simétricas, por ejemplo, ubicando los servicios de circulaciones verticales, al centro de las plantas arquitectónicas.



La separación de los edificios a sus colindancias, puede llegar a ser un factor determinante en su comportamiento dinámico pues, si no es suficientemente amplia, pueden existir daños por choque, como muestra la fotografía inferior.

De acuerdo al Reglamento para construcciones del D.F. (Referencia 38), cuando no se calculan los desplazamientos de la estructura, la separación entre dos edificios colindantes, debe ser la mayor de las calculadas según la figura del lado derecho y debe cuidarse con minucia que ésta separación se mantenga libre de cualquier tipo de materiales.



$$d = 8 \text{ cm} \text{ min } \delta$$

$$d = 0.008 H$$

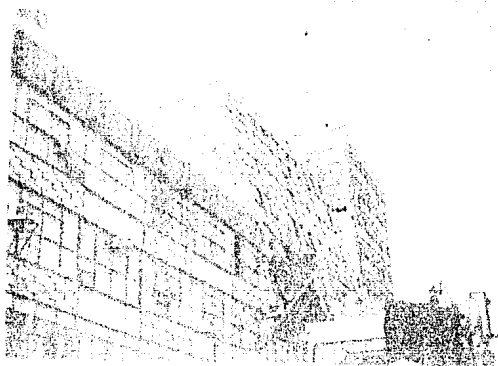


FIG. 7.4.- SEPARACION A COLINDANCIAS

En la figura 7.5 se muestran los distintos efectos que pueden tener los edificios con plantas demasiado alargadas, cuando se sujetan a fuerzas sísmicas.

#### 7.4. SIMETRIA EN ALZADO. ENTREPISOS FLEXIBLES.

La sencillez y simetría verticales son deseables, por los mismos motivos que lo son en planta. Además, en elevación es conveniente que no existan cambios bruscos en las dimensiones del edificio, ni en la distribución de masas, rigideces y resistencias. El principal objetivo es evitar que se produzcan concentraciones de esfuerzos en los pisos débiles.

Tomando en cuenta estos factores, la estructura tendrá mayores probabilidades de soportar un sismo, si sigue los siguientes lineamientos:

- a) los miembros que soportan las cargas están distribuidos uniformemente.
- b) Todas las columnas y muros son continuos y sin rematamientos, desde el último nivel, hasta la cimentación.
- c) Todas las vigas están libres de rematamientos.
- d) Todas las vigas y columnas son coaxiales.
- e) Las columnas y vigas de concreto tienen más o menos el mismo ancho.
- f) Los miembros principales no cambian de sección repentina.
- g) La estructura es tan continua y monolítica, como sea posible.

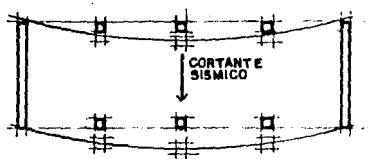
En las figuras 7.6 se muestran los efectos que causan los entrepisos flexibles y sus posibles soluciones.

#### 7.5.- REDUCCION DE SECCIONES, ELEVADORES Y APÉNDICES.

Se desea que en el diseño sísmico de una estructura, se eviten las reducciones de secciones de los elementos principales, dentro de lo posible o, al menos, evitar cambios muy bruscos. Evitando ésto, es posible que no se presenten amplificaciones dinámicas y concentraciones de esfuerzos en dichos elementos. El caso extremo de este comportamiento, se presenta cuando se espotra, sobre una estructura rígida, una muy flexible, tal como se muestra en la figura 7.7.- Al someterse el sistema a excitaciones vibratorias en la base, puede esperarse que el comportamiento tenga la siguiente historia:

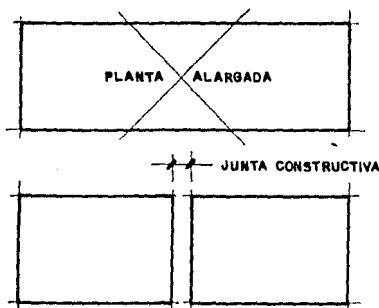
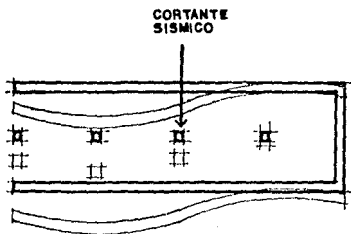
- a) Al inicio del movimiento cíclico, las dos masas oscilen uniformemente (fig. 7.7a);
- b) Después de un número suficiente de ciclos, las masas se desplazan disformemente (fig. 7.7b) y;
- c) Si continúa el movimiento cíclico, se produce el "chicoteo" de la estructura más flexible, es decir, se amplifican los efectos dinámicos y la base de esta parte, se ve sujeta a esfuerzos muy grandes, produciéndose su colapso (fig. 7.7c)

Este mismo efecto puede presentarse en apéndices de azoteas y fachadas, tales como - tinacos, anuncios, cuartos de máquinas y cubiertas de elevadores, etc.



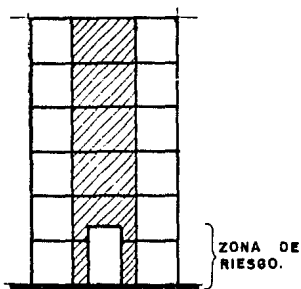
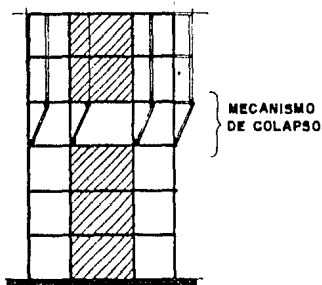
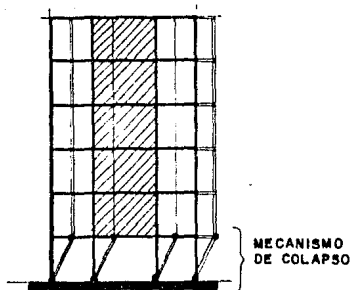
En plantas demasiado alargadas no se cumple una de las principales hipótesis del análisis sísmico pues, la losa, no funciona como diafragma rígido, por lo tanto, no se puede predecir con precisión su comportamiento dinámico, por los procedimientos de análisis convencionales. La figura central muestra un ejemplo en el que, aunque existe simetría, los marcos de los ejes centrales se ven sujetos a mayores sollicitaciones respecto a los otros.

La figura central muestra un ejemplo en el que, además de darse el problema de planta alargada, existe asimetría y no hay suficiente resistencia en el sentido corto de la planta.



Una buena forma de solucionar plantas -- alargadas, es la de prever, en el proyecto arquitectónico, juntas constructivas. Estas juntas deberán cumplir con lo indicado en la figura 7.4

FIG. 7.5.- PLANTAS ALARGADAS



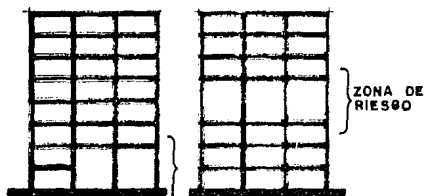
Es una práctica común proyectar plantas bajas flexibles y el resto de los pisos con muros rigidizantes, ya sean de concreto o de mampostería, apoyados a la estructura, generalmente para alojar en éstas plantas, estacionamientos y otros servicios.

Esta práctica, durante un sismo, puede llegar a ser de fatales consecuencias pues, la parte superior del edificio, se comporta como cuerpo rígido y puede provocar mecanismos de falla en las columnas, debido a que se ven sujetas a deformaciones mayores, tal como se muestra en la figura superior.

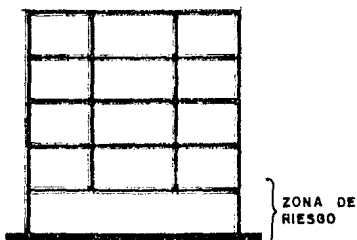
Este mismo efecto, puede presentarse en entrepisos superiores, como se muestra en la figura central, creándose con mayor facilidad articulaciones plásticas en los extremos de las columnas.

En el caso de proyectar aberturas en los muros rigidizantes, por ejemplo para entradas como se muestra en la figura inferior, debe tenerse presente que estas forman una zona de riesgo y por lo tanto, deberán ser cuidadosamente diseñadas para garantizar su correcto funcionamiento.

FIG. 7.6.- ENTREPISOS DEBILES.



Otra característica que debe cuidarse al proyectar edificios en zonas sísmicas, es la uniformidad de los sistemas estructurales. En las estructuras como las mostradas en las tres figuras superiores, se pierde la continuidad de las bajadas de cargas, por la disposición no uniforme de las zonas marcadas como de riesgo. Es visible que estas zonas tendrán comportamientos distintos a los del resto de la estructura, además serán difíciles de predecir, por medio de los análisis sísmicos convencionales.



La figura inferior, muestra una buena disposición de la estructura y los muros rigidizantes, en tanto que se guarda la uniformidad. Es obvio que, estructuras de este tipo, serán fáciles de analizar y predecir su comportamiento dinámico y tendrán mayores posibilidades de subsistir a los sismos.

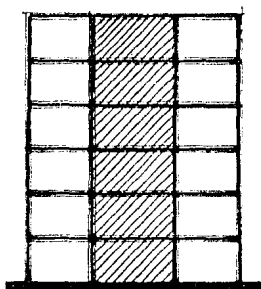
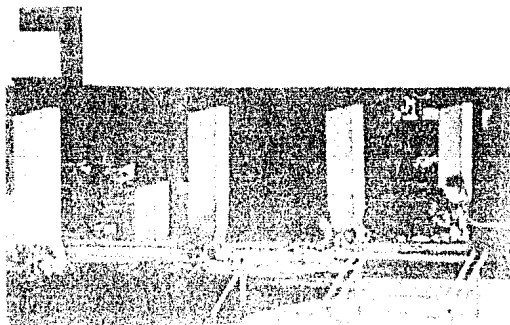
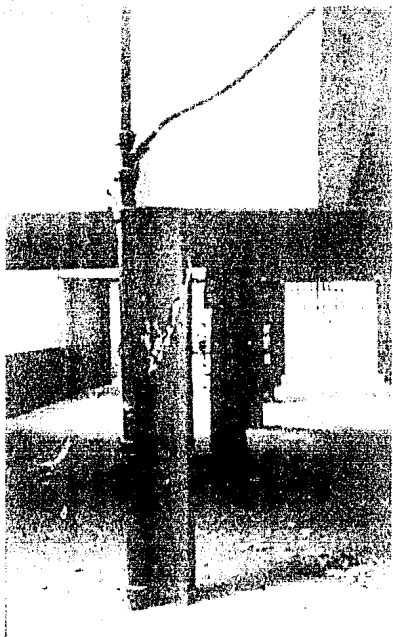


FIG. 7.6. - Continuación.

Fotografía superior: Edificio con -  
planta baja flexible en su dirección  
corta, para alojar estacionamientos .  
Notese que todas las columnas del e-  
je central, presentan falla por cor-  
tante. (Referencia 43).

Fotografía inferior: Edificio con -  
planta baja flexible en ambas direc-  
ciones. El edificio se vió sujeto a -  
volteo lo que, aunado a grandes des-  
plazamientos, provocó la formación de  
articulaciones plásticas en las co-  
lumnas. (Referencia 68)



**FIG. 7.6.- Continuación**



7.6.- CONFIGURACIONES COMPLEJAS EN AZADOS.

Este tipo de configuraciones, generan concentraciones de esfuerzos y amplificaciones dinámicas, en cierto modo, de igual manera que el caso de reducción de secciones. Por otro lado, prever su comportamiento dinámico, y aún el estático, puede resultar sumamente complejo, incluyendo el correspondiente a la cimentación.

En las figuras 7.8 se muestran algunos casos de configuraciones complejas que deben evitarse, además de las consideradas en las figuras anteriores.

7.7. EDIFICIOS EN ESQUINA Y CON REMETIMIENTOS.

7.7.1.- EDIFICIOS EN ESQUINA.

De la observación de daños provocados por el sismo de septiembre de 1985, se notó que un alto porcentaje de las estructuras falladas, se localizaban en esquinas; en un porcentaje -- cercano al 80% de ellas la falla ocurrió por efectos torsionantes ocasionados por asimetría de los elementos rigidizantes en planta. Esta asimetría surge generalmente por la necesidad de -- construir muros laterales de colindancia que comúnmente son ligados a la estructura, siendo que no fueron considerados en los análisis originales, y aunque lo hayan sido, es realmente complejo considerar los efectos torsionantes en los análisis realizados en la práctica común, por --- otra parte, las fachadas de las esquinas están comúnmente constituidas a base de marcos y ventan, totalmente libres de muros, lo cual acrecenta notablemente la asimetría. En la figura 7.9 se ejemplifica éste comportamiento.

7.7.2.- EDIFICIOS CON REMETIMIENTOS.

Los edificios con remetimientos en planta, pueden presentar problemas de "chicoteo", si las alas de los edificios tienen longitudes en planta muy alargadas, es decir, se producen efectos de amplificación dinámica de torsión en una parte de la estructura, al estar ligada a -- otra de características disímiles. En la figura 7.10 se muestra este efecto para el caso de un edificio con planta en "T".

En lo posible, las plantas con entrantes y/o salientes, deben evitarse por medio de - juntas constructivas bien diseñadas ya que, constituyen irregularidades que pueden provocar sollicitaciones intolerables en los elementos de la estructura o, en todo caso, pueden sobrepasar condiciones de servicio preestablecidas, tales como desplazamientos laterales producidos por el efecto de "chicoteo"

En la figura 7.11, se muestran algunas relaciones recomendables para remetimientos y salientes, como límites tolerables a fin de evitar algunos de los problemas mencionados.

7.8.- ELEMENTOS DE FACHADAS. (13) (14)

Los problemas de detallado a prueba de sismos para elementos de fachadas (recubrimien

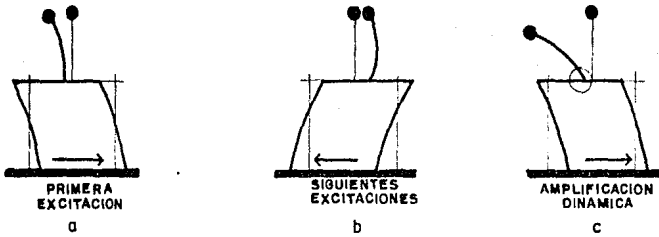


FIG. 7.7.- APENDICES Y REDUCCION DE SECCIONES.

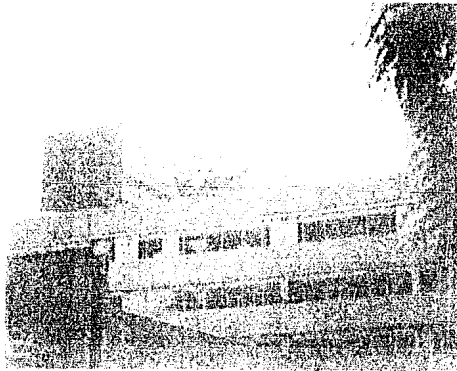


Figura 7.7 : El efecto que se produce en apéndices y elementos estructurales verticales - que por economía se reducen - de sección, de una planta a otra, es el de amplificación dinámica o "chicoteo".

Figura 7.8 : Edificios en los que fallaron los apéndices que alojaban cuartos de máquinas de elevadores y la cubierta de circulaciones verticales.

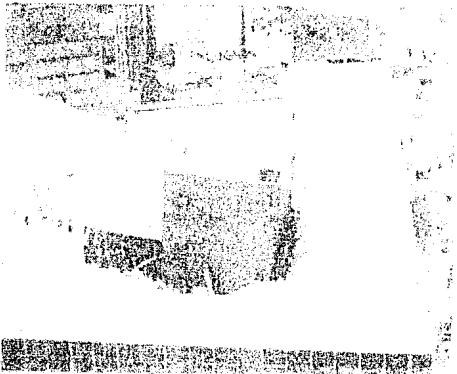
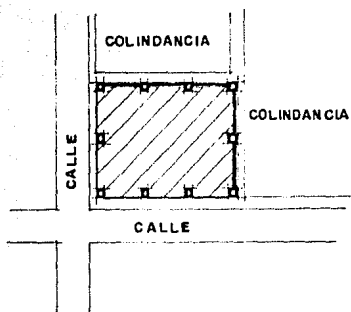


FIGURA 7.8.



Cuando por restricciones de la ubicación del terreno, es necesario proyectar en esquinas, es importante prever que los muros para cerrar las fachadas de las colindancias, pueden producir grandes excentricidades a la estructura, como muestran las figuras. Una buena medida que puede tomarse, para evitar este problema, es la de desligar los muros de la estructura, como se recomendó en el capítulo V.

La fotografía inferior, muestra un edificio en esquina fallado por torsión durante los sismos de la Cd. de México en 1985.

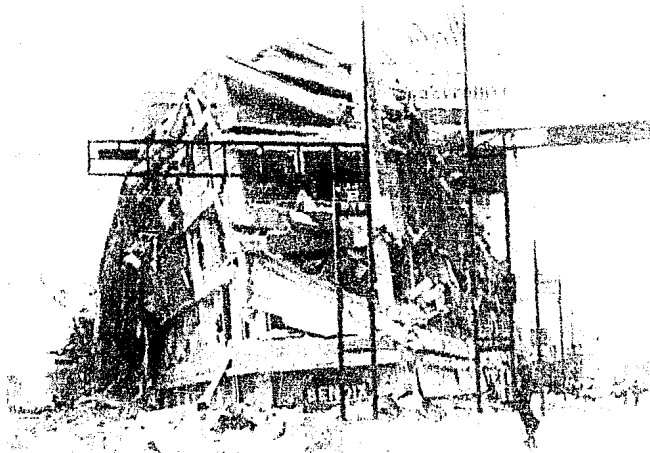
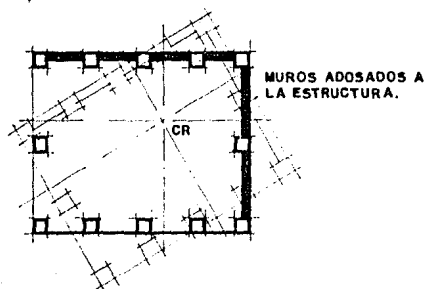
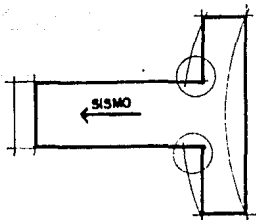
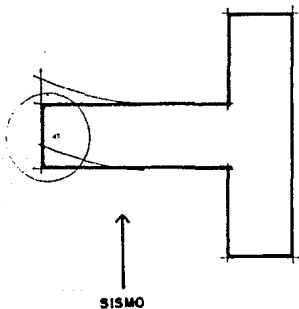


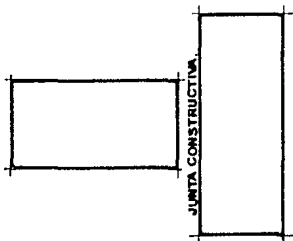
FIG. 7.9.- EDIFICIOS EN ESQUINA.



En plantas en "T", como la mostrada en la figura, es posible que se produzca un efecto de "chicoteo" de poca magnitud, en la zona de unión de los dos cuerpos. Los elementos estructurales localizados en esa zona, pueden presentar fallas que si bien, no ponen en peligro la estabilidad completa del edificio, si pueden deteriorar sus condiciones de servicio.

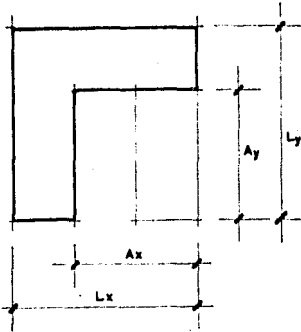


Si la excitación sísmica, presenta sus desplazamientos más importantes en la dirección que se muestra en la figura, el efecto de "chicoteo" puede agravarse en la zona extrema de la planta en "T", produciendo la falla de los elementos estructurales de esa zona.



Para evitar los efectos anteriores, es recomendable prever en el proyecto arquitectónico, juntas constructivas, como se muestra en la figura, cuidando que se cumplan las disposiciones mencionadas en la figura 7.4.

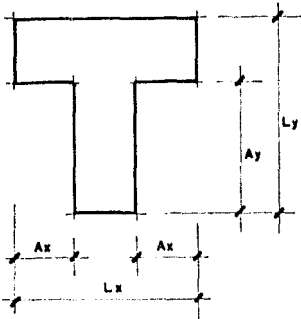
FIG. 7.10.- REMETIMIENTOS Y SALIENTES.



Para evitar que se produzcan problemas en las salientes y/o entrantes en planta de los edificios, es recomendable guardar las relaciones que se muestran en las figuras (Referencia 21 pág 168)

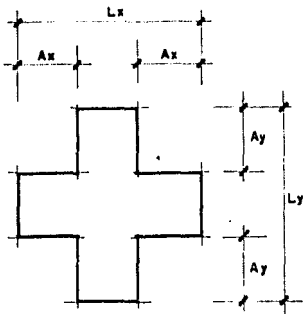
$Ax/Lx$  entre 0.15 y 0.20

$Ay/Ly$  entre 0.15 y 0.20



$Ax/Lx$  entre 0.15 y 0.20

$Ay/Ly$  entre 0.15 y 0.20



$Ax/Lx$  entre 0.15 y 0.20

$Ay/Ly$  entre 0.15 y 0.20

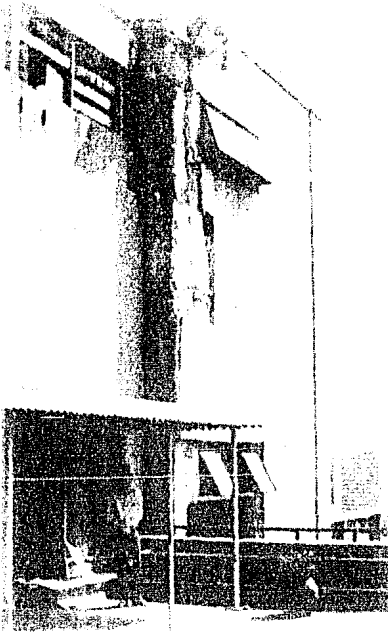
FIGURA 7.II.

tos, ventanas, muros, etc.), son en principio, los mismos que para elementos no estructurales, que se comentan en secciones anteriores. La rigidez en su plano hace posible que se dañen durante el desplazamiento horizontal del edificio y, deberán aplicarse en forma lógica las técnicas para construcción integral o separada.

Vale la pena mencionar que en el sismo de San Fernando, que causó daños por valor de trecientos mil millones de pesos, la rotura de cristales, costó más que cualquier otro daño. Por tal motivo, es recomendable que los bastidores de las ventanas deben estar separados de la acción del marco. Si el desplazamiento lateral es pequeño, puede lograrse una protección suficiente del vidrio sujetándolo con masilla suave. El modo de falla de las ventanas un vidrio colocado sobre masilla dura, tiende a ser del tipo de pandeo explosivo, por lo que debe ser usado solo donde los bastidores estén completamente separados de la estructura, como por ejemplo cuando los vidrios estén en un tablero o marco que a su vez esté separado de la estructura como se acostumbra en secciones anteriores.

Es preciso hacer mención que, este problema de fachadas, es aún más notorio en los edificios en esquina, por las razones expuestas en la sección 7.2.

Finalmente, los elementos de fachada que, generalmente se olvida tomar en cuenta en aspectos sísmicos, son los acabados o recubrimientos, los que por regla común, si son de piedra o material ajeno a los muros, se "anclan" con un pequeño alambre. Sin embargo estos elementos deberán ser adecuadamente diseñados en sus anclajes ya que su falla, aunque no es paratosa, puede ser fatal para algún peatón.



Las cancelerías y recubrimientos de fachadas, aunque no ponen en peligro la estabilidad de los edificios, durante sismos severos, pueden verse sujetas a grandes deformaciones, que provoquen roturas de vidrios y desprendimientos de recubrimientos que sí pongan en peligro la vida de los transeúntes. Es muy importante tomar medidas al respecto, desde el proyecto arquitectónico, hasta la propia construcción. (ver capítulo V)

Las fotografías muestran dos edificios que presentaron este tipo de problemas, durante el sismo de la Cd. de México de 1985.

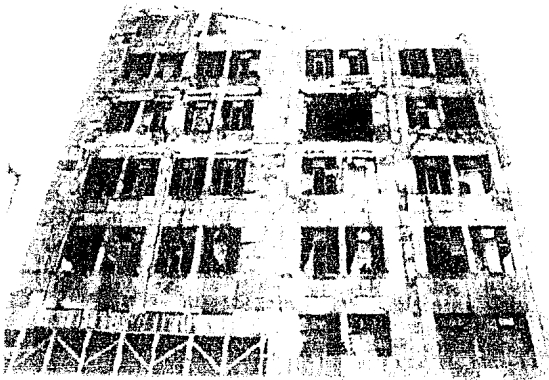


FIGURA 7. 12 .

## REFERENCIAS DEL CAPITULO VII

- ( 1) Referencia 21, op. cit.
- ( 2) Referencia 19, op. cit.
- ( 3) Referencia 79, op. cit.
- ( 4) Referencia 77, op. cit.
- ( 5) Referencia 46, op. cit.
- ( 6) Referencia 13, op. cit.
- ( 7) Referencia 4, op. cit.
- ( 8) Referencia 67, op. cit.
- ( 9) Referencia 20, op. cit.
- (10) Referencia 86, p.p. 7-30, op. cit.
- (11) Referencia 86, p.p. 50-72, op. cit.
- (12) Referencia 86, p.p. 91-83, op. cit.
- (13) Referencia 86, p.p. 115-152, op. cit.
- (14) Referencia 43, op. cit.





VIII

CAPITULO



## VIII.- COMPORTAMIENTO DE LAS CIMENTACIONES.

### 8.1.- INTRODUCCION.

El comportamiento de las cimentaciones, cuando se ven sujetas a fuerzas sísmicas, depende prácticamente de los siguientes factores (1) (2):

- a) Comportamiento del suelo al que transmiten las cargas (Ver capítulo IV)
- b) Comportamiento de la super estructura que soporta, considerando especialmente el incremento de cargas por volteo y/o excentricidades (Ver capítulos del V al VII).
- c) La buena elección del tipo de cimentación y su correcto Diseño, tomando en cuenta -- los factores anteriores.
- d) La correcta ejecución de procedimientos constructivos, en los que debe existir íntima relación entre el Diseñador y el Constructor.
- e) El buen comportamiento de la propia cimentación durante su trabajo en circunstancias permanentes normales.

Hemos mencionado en capítulos anteriores que en la práctica común para el desarrollo de un proyecto por lo menos en México, se realicen por separado la parte Arquitectónica y la Estructural lo cual, reiteramos, es aberrante. Dentro de la parte estructural, suele también cometerse un error similar; un área realiza el proyecto, diseño y cálculo de la super estructura, otra área realiza la parte correspondiente a la subestructura y por último, otra parte ejecuta la construcción. Esto es debido, principalmente, a que cada una de estas áreas requieren de una especialización, sin embargo, sea cual fuere la especialidad, siempre debe mantenerse una estrecha relación entre ellas.

Con ésta salvedad y dado que la Mecánica de Suelos y la Ingeniería de Cimentaciones son áreas en proceso continuo de estudio, sobre todo en lo que respecta al área sísmica, el presente capítulo se reduce a mencionar las principales fallas que pueden suceder en las cimentaciones, basándonos en estudios ya realizados de estructuras falladas durante la ocurrencia de sismos importantes, aclarando como contexto muy importante, que la influencia del proyecto arquitectónico llega hasta los puntos b y d antes mencionados.

### 8.2.- LA SUPERESTRUCTURA Y LA CIMENTACION.

Cuando se presenta un sismo, el suelo transmite desplazamientos a la estructura que, como ya mencionamos, se traducen en fuerzas adicionales a ella y a su vez en sobre cargas al suelo, formándose una especie de ciclos de carga. (fig. 8.1), o sea que existe una interacción entre el suelo y la estructura (3). El comportamiento idóneo de la cimentación, se puede dar cuando la estructura y el suelo trabajan integralmente pues se reducen los incrementos de car-

COMPORTAMIENTO ESTÁTICO. SIN PRESENCIA DE SISMO.



MOVIMIENTO INICIAL DEL SUELO AL PRESENTARSE UN SISMO.



FUERZAS ADICIONALES A LA ESTRUCTURA Y SOBRECARGAS AL SUELO

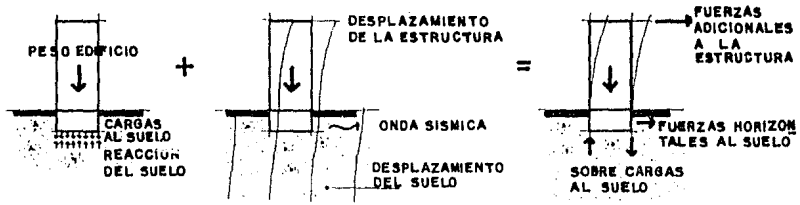


FIG. 8.1.- INTERACCION SUELO - ESTRUCTURA.

Desde el punto de vista Arquitectónico, debe considerarse que, un factor determinante del proyecto, es la condición del suelo donde se pretenda construir, dado que, en un porcentaje importante, el comportamiento dinámico de la estructura, depende de estas condiciones, es decir, debe considerarse la capacidad de carga del suelo, y sus características dinámicas, por lo menos en forma cualitativa.

gas a ambos elementos, esto puede lograrse más fácilmente si la forma Arquitectónica es sismo-resistente, o sea en la que (fig. 8.2)

- a) Las cargas verticales son simétricas.
- b) Los efectos de volteo son pequeños.
- c) La estructura no es demasiado larga en planta.

Por otro lado, para la elección de la propia cimentación deben considerarse los siguientes factores (fig. 8.3)

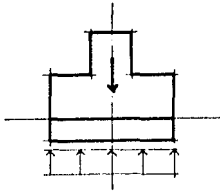
- a) La transmisión de cortantes horizontales de la base de la cimentación al suelo.
- b) La previsión de tensiones e incremento de compresiones por volteo, sobre todo en los extremos de la cimentación.
- c) Los asentamientos diferenciales del suelo por exceso de presiones de contacto cimentación-suelo y por la propia posibilidad de falla del suelo como, compactación de arenas, consolidación de arcillas, etc. (4)
- d) Posibilidad de licuación de suelos cohesivos como las arcillas. (5) (fig. 8.4)
- e) Los efectos de la profundidad de desplante en la respuesta sísmica (5)
- f) Períodos de vibración natural del suelo y la estructura. (6) (fig. 9.5)

### 8.3.- ELECCION DEL TIPO DE CIMENTACION.

En la actualidad se cuenta con muy poca información sobre el diseño sísmico de cimentaciones (7) (8), ésto implica que, en general, se diseñe la cimentación con métodos estáticos tradicionales, cuidando los aspectos vistos en el punto anterior. Sin embargo, podemos indicar el proceso normal para esta elección (9):

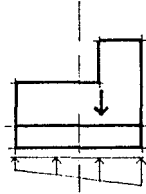
- a) Obtener información precisa respecto a la naturaleza y trabajo de la superestructura
- b) Realizar estudios de mecánica de suelos para conocer las propiedades y características del suelo y sus distintos estratos.
- c) Considerar todos los tipos de cimentación para juzgar si pueden construirse en las condiciones del suelo sobre el que se pretende cimentar; si serán capaces de soportar las cargas del edificio y si pueden experimentar asentamientos perjudiciales.
- d) Hacer estudios más detallados de los tipos de cimientos elegidos, determinando sus dimensiones principales (tamaño de zapatas, longitud y número de pilotes, profundidad de cajones de compensación, etc.)
- e) Preparar una estimación de los costes de construcción de los tipos de cimiento considerados.

**RECOMENDABLE**

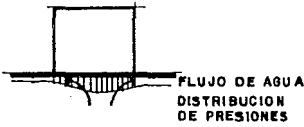
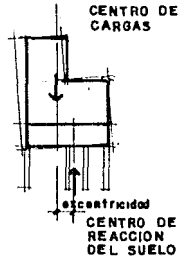
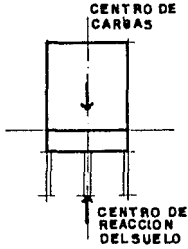


**CARGAS VERTICALES  
SIMETRICAS = PRESIO  
NES UNIFORMES AL  
SUELO**

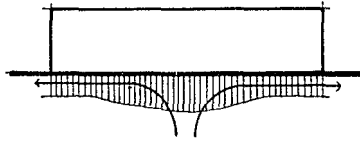
**NO RECOMENDABLE**



**CARGAS VERTICALES  
ASIMETRICAS = INCRE  
MENTO DE CARGAS A  
UNA ZONA DEL SUELO.  
MAYOR POSIBILIDAD  
DE VOLTEO.**



**ESTRUCTURA CON PLANTA  
CORTA = DISTRIBUCION  
DE PRESIONES AL SUELO  
UNIFORME; FACILITA FLUJO  
DE AGUA.**



**ESTRUCTURA CON PLANTA DEMASIADO  
LARGA = DISTRIBUCION DE PRESIONES  
AL SUELO DISFORME; HUNDIMIENTOS  
DIFERENCIALES; DIFICULTA FLUJO DE  
AGUA.**

**FIG. 8.2.-INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CARGA EN LA CIMENTACION.**

La figura muestra la importancia de las características de simetría de los edificios así como, la influencia que tienen sus dimensiones en planta en la transmisión de esfuerzos al suelo. Note que mientras más grande es la superficie de contacto suelo-cimentación, la profundidad de los mantos del suelo afectados es mayor.

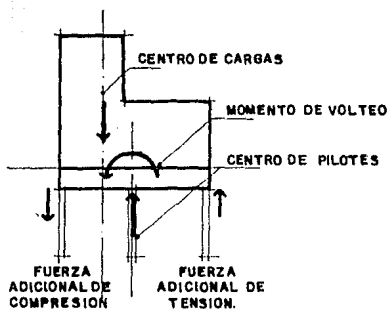


FIG. 8.3.a.- EFECTO DEL MOMENTO DE VOLTEO

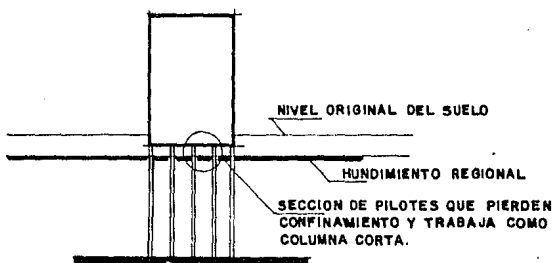


FIG. 8.3.b.- EFECTO DE LA CONSOLIDACION REGIONAL

**FIG. 8.3.- CONSIDERACIONES IMPORTANTES PARA LA ELECCION DE LA CIMENTACION.**

El efecto de volteo del edificio, debe ser tomado en cuenta al considerar que la cimentación se verá sujeta a fuerzas de compresión y tensión, sobre todo en los elementos periféricos. De la misma forma, debe considerarse el hundimiento regional de los suelos, sobre todo en la Cd. de México.

f) Elegir y diseñar la cimentación más apropiada.

En la figura 8.4 se muestra una tabla donde se indican las posibles elecciones en cimientos, considerando el tipo de suelo y el tipo de estructura, con la aclaración de que pueden existir tantos tipos de cimentaciones como diseñadores haya dedicados a ésta rama.

8.4.- COMPORTAMIENTO DE LAS CIMENTACIONES.

8.4.1.- FALLAS DE VIDAS AL SUELO.

Quizá la única protección que se pueda prever para proteger una edificación de fuerzas sísmicas, cuando ocurre la falla del suelo es que la super estructura esté correctamente diseñada para estos efectos y la cimentación cuente con factores de seguridad adecuadamente al tos respetando, por lo menos, los marcados por los reglamentos correspondientes. Por las siguientes razones (5):

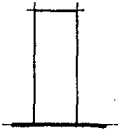
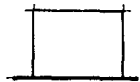
- a) Los esfuerzos que una falla de cimentación induce en la estructura, alcanzan valores muy por encima de lo que es factible prever considerando los costos de construcción. Por ejemplo, una estructura perfectamente bien diseñada, difícilmente resistirá la licuación del suelo sobre el que descansa.
- b) Suponiendo que la estructura resista fuertes hundimientos sin deteriorarse, podría quedar inútil en lo que se refiere a sus condiciones de servicio.
- c) La amplificación de ondas en suelos muy blandos o sueltos, de poco espesor y que descansan en suelos rocosos, es considerablemente grande. Diseñar para esas condiciones, implicaría costos exorbitados en la estructura, lo cual se hace poco factible.

Podemos concluir que el principal factor que debe tomarse en cuenta, en el caso de proyectar edificios en suelos susceptibles a fallar es el costo, tanto de la preparación previa que se requiera (por ejemplo, para compactar arenas sueltas), como el de la propia cimentación y la super estructura en dichas condiciones adversas. (fig. 8.5)

8.4.2.- CIMIENTOS SUPERFICIALES.

En general, el comportamiento de zapatas aisladas o corridas presentan falla por asentamientos diferenciales debidos a construcciones vecinas de mucho mayor peso que presenten hundimientos importantes.

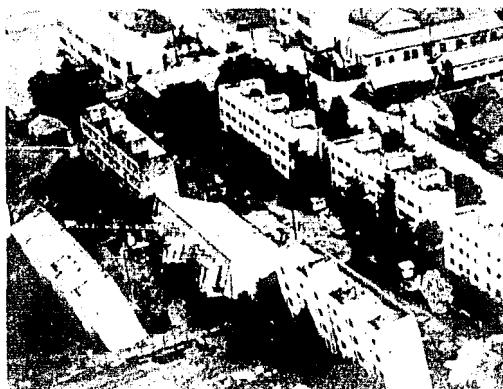
La falla en losas corridas de cimentación puede deberse a presiones de contacto excesivas que, aún en condiciones estáticas pudieran conducir a fuertes asentamientos del edificio o también a desplomes existentes previos a la ocurrencia del sismo. (fig. 8.6)

TIPO DE EDIFICIO  TIPO DE SUELO	EDIFICIO ESBELTO RELATIVAMENTE PESADO	EDIFICIO RIGIDO RELATIVAMENTE PESADO	CASA HABITACION DE DOS O TRES NIVELES
			
<b>BLANDO COHESIVO ARCILLAS CONSOLIDABLES</b>	3- CAJON DE COMPENSACION 5- PILOTES DE FRICCION 6- PILOTES CONTROL	3- CAJON DE COMPENSACION 5- PILOTES DE FRICCION 6- PILOTES DE CONTROL	1- ZAPATAS 2- LOSAS
	cuidar los períodos naturales de vibración		revisar principalmente la estructura
<b>ARENOSO O LIMOSO CON POSIBILIDAD DE LICUARSE</b>	4- PILOTES DE PUNTA 6- PILOTES DE CONTROL	4- PILOTES DE PUNTA 6- PILOTES DE CONTROL	1- ZAPATAS
	prever tensiones o compresiones adicionales en la cabeza de los pilotes y su trabajo a flexión		prever que exista libre flujo de agua entre la cimentación y el suelo
<b>ARENOSO SECO EN ESTADO SUELTO</b>	4- PILOTES DE PUNTA 6- PILOTES DE CONTROL	4- PILOTES DE PUNTA 6- PILOTES DE CONTROL	1- ZAPATAS 2- LOSAS
	tratar el suelo previamente a la construcción provocando su compactación.		
<b>FIRME COMPACTO O ROCOSO</b>	1- ZAPATAS	1- ZAPATAS 2- LOSAS	1- ZAPATAS
	revisar la existencia de cavernas y galerías bajo la cimentación		

**FIG. 8.4.- ELECCION DEL TIPO DE CIMENTACION.**

La elección del tipo de cimentación, depende principalmente de dos factores: Las características del suelo y las características del edificio. La figura muestra, cualitativamente, los distintos tipos de cimentaciones recomendables, en función de estos dos conceptos.





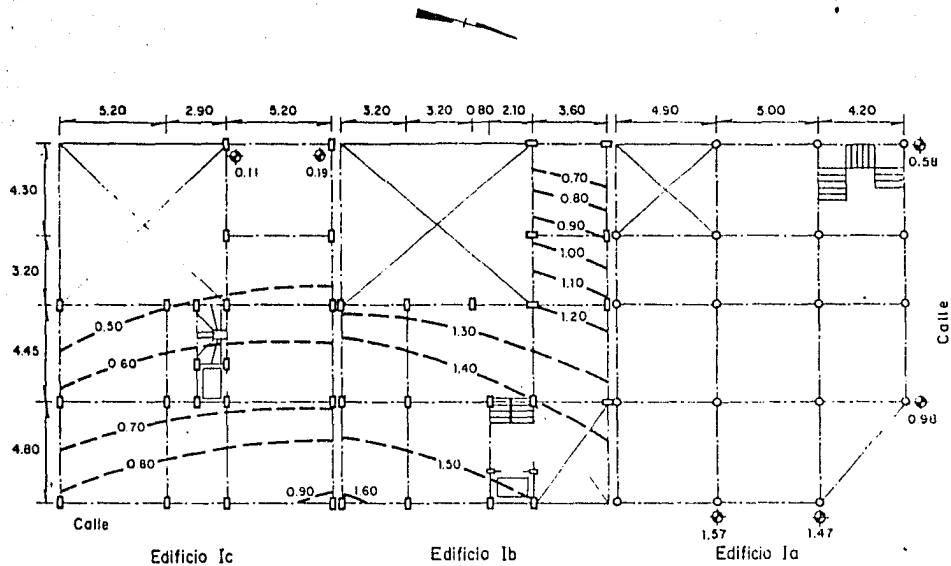
**FIGURA 8.5**

Volcamiento de un edificio por licuación de arenas, durante el sismo de 1964, en Niigata, Japón. (Fotografía tomada de la referencia 78)



**FIGURA 8.5. b**

Hendimiento de un edificio carentado sobre pilotes de fricción, por la plastificación de las arcillas, durante el sismo del 19 de septiembre de 1935, en la Cd. de México. (referencia 48)



Dimensiones y asentamientos en metros

**FIGURA 8.6**

Planta de un edificio con losa de cimentación en la que se muestran los asentamientos diferenciales, después del sismo del 19 de septiembre de 1985, de la Cd. de México. El edificio presentaba ya algunos problemas de hundimiento, antes de este sismo. (referencia 48)

En suelos no cohesivos, debe cuidarse especialmente el efecto de desplazamiento horizontal de los cimientos por falta de fricción entre éstos y la superficie del suelo, por ejemplo, diseñando contratraveses a tensión y/o compresión. (8)

#### 8.4.3.- CIMENTACIONES COMPENSADAS.

En la mayor parte de los casos estudiados de fallas de cimentaciones compensadas durante los sismos, se ha observado que son debidas a malos comportamientos previos a la ocurrencia sísmica y al incremento de presiones netas en la superficie de contacto suelo-cimiento. Este incremento de presiones puede deberse a estacionamientos de aguas freáticas dentro de los cajones, por deficiencias constructivas o al volteo del edificio por excentricidades de las cargas verticales. (fig. 8.7)

#### 8.4.4.- CIMENTACIONES SOBRE PILOTES DE PUNTA.

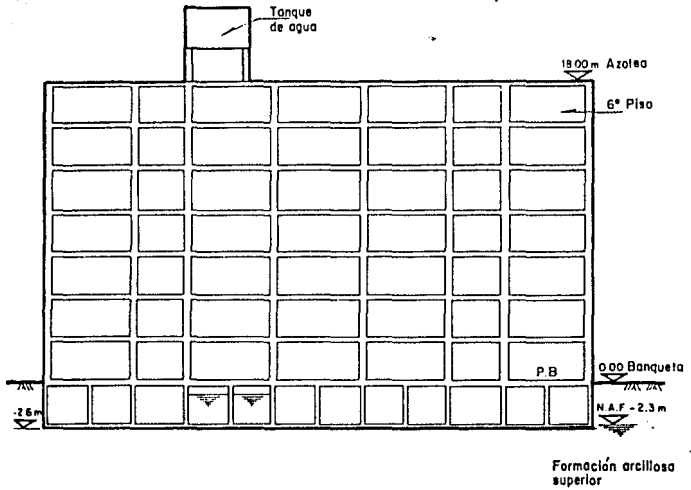
En pilotes apoyados sobre alguna capa dura del suelo deben considerarse principalmente tres tipos de falla: la falla de la cabeza de los pilotes, por trabajar como columnas cortas, cuando pierden su confinamiento por hundimientos regionales del suelo; el pandeo o colapso de pilotes extremos por incremento de cargas de tensión o compresión al producirse el efecto de volteo del edificio y; la penetración de los pilotes extremos en la capa dura por el mismo efecto de volteo del edificio. (fig. 8.8)

#### 8.4.5.- CIMENTACIONES SOBRE PILOTES DE FRICCIÓN.

Los pilotes de fricción se utilizan generalmente combinados con cajones de compensación, por lo que, las fallas de éstos pueden deberse a las mencionadas para los cajones. Además, es muy probable que, durante los sismos se presenten comportamientos plásticos en las arcillas (10), sobre todo, y esto disminuya considerablemente su resistencia, ocasionando fuertes hundimientos, sin embargo, ésta es una teoría que no ha sido comprobada del todo y existen incluso teorías que hablan de licuación de arcillas (11) (fig. 8.9, 8.10)

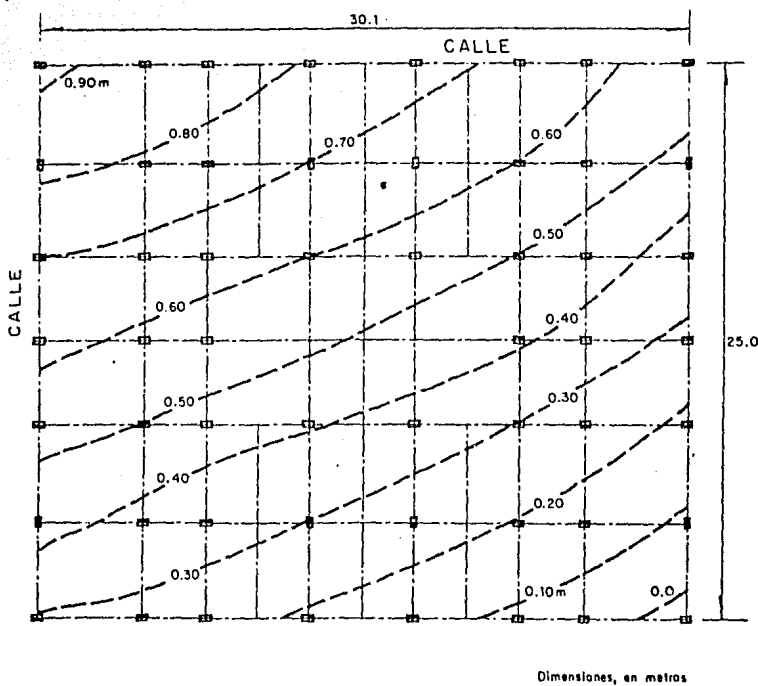
#### 8.4.6.- CIMENTACIONES SOBRE PILOTES DE CONTROL.

Los pilotes de control han mostrado tener comportamientos adecuados salvo dos consideraciones importantes: la falta de mantenimiento de los sistemas de control, provocando sobrecargas en algunos pilotes e incluso, hundimientos diferenciales y; la deficiencia en el diseño estructural de elementos anudados a los pilotes, tales como contratraveses, muros y dados de cimentación. (J.11)



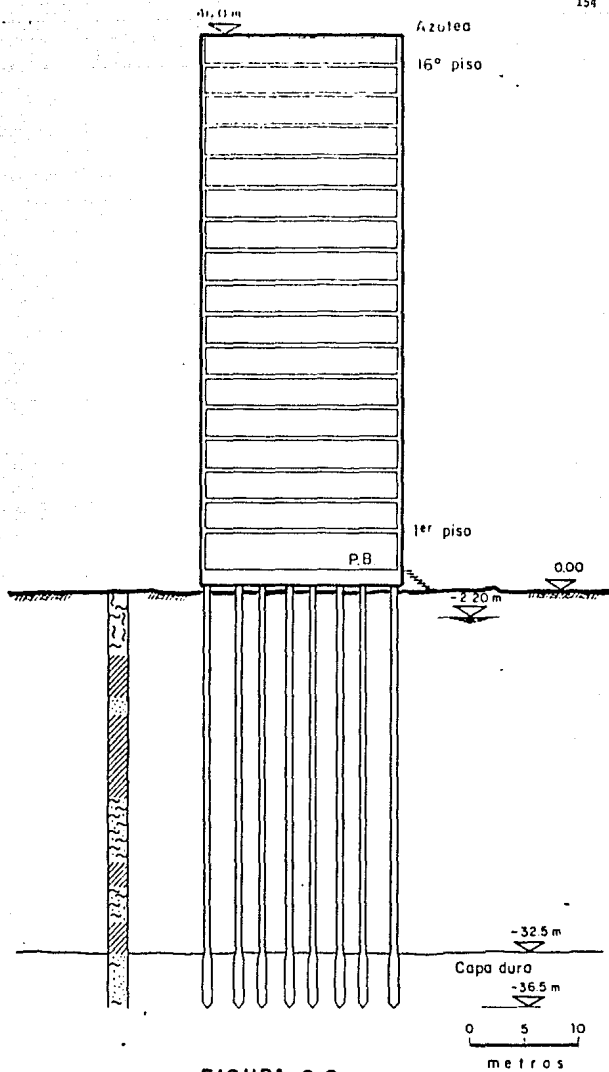
**FIGURA 8.7**

Corte esquemático de un edificio cimentado con cajón de compensación. Note la ubicación de los tanques de almacenamiento de agua. Este edificio presentaba problemas de inundación de los cajones, aunque no muy importantes. (Referencia 48)



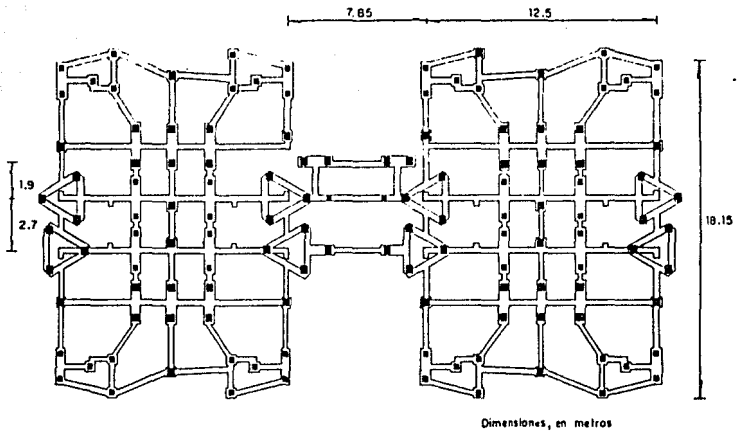
**FIGURA 8.7.**  
CONTINUACIÓN

Planta de cimentación donde se marcan los hundimientos diferenciales medidos después del sismo de 1985 de la Cd. de México. (referencia 48)



**FIGURA 8.8**

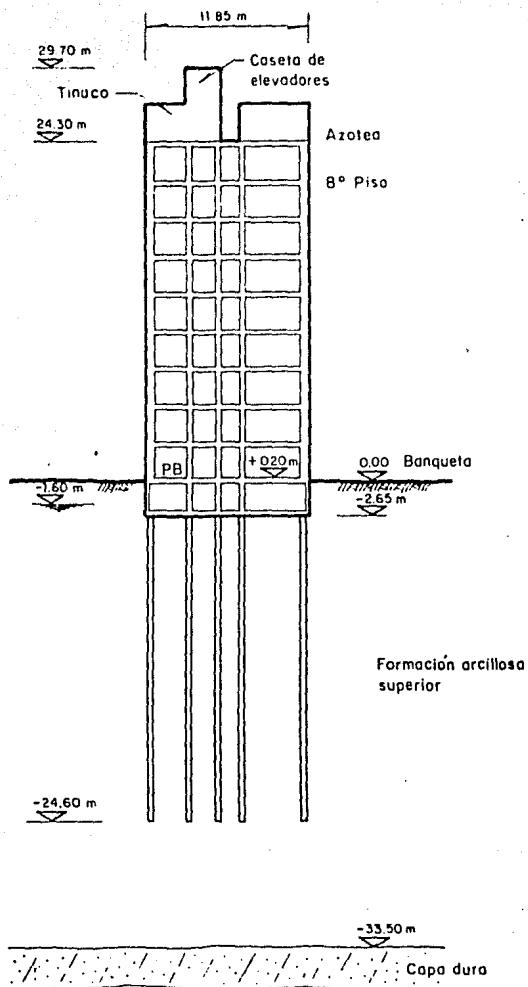
Corte esquemático de un edificio cimentado sobre pilotes de punta. Note que el hundimiento regional dejó libres las cabezas de los pilotes, haciéndolos trabajar como columnas cortas. (Referencia 48)



**FIGURA 8.8**  
LUNINGUAYO

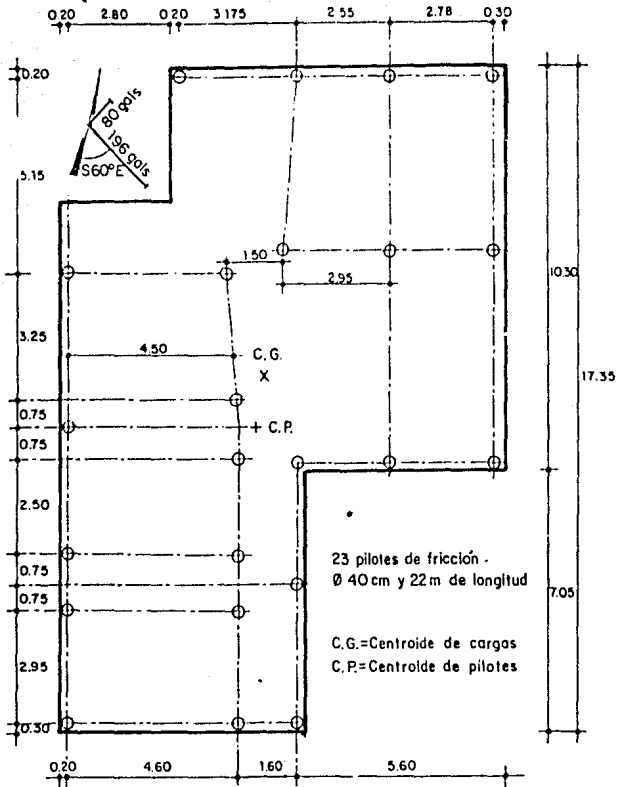
Planta de cimentación del edificio que muestra la disposición de los pilotes. (Referencia 48).





**FIGURA 8.9**

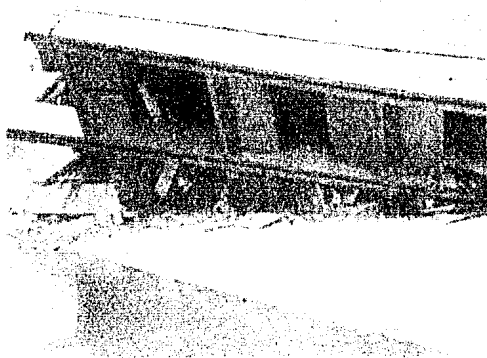
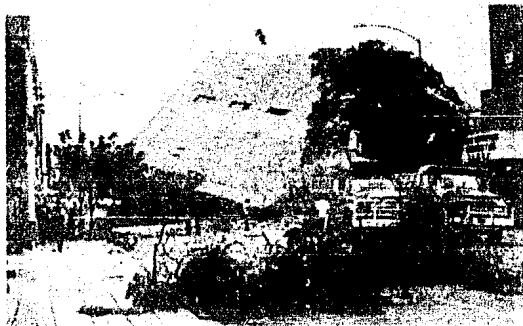
Corte esquemático de un edificio cimentado sobre pilotes de fricción que falló por volcamiento durante el sismo de 1985 en la Cd. de México. Note la ubicación de los apéndices. (referencia 4)



Dimensiones, en metros

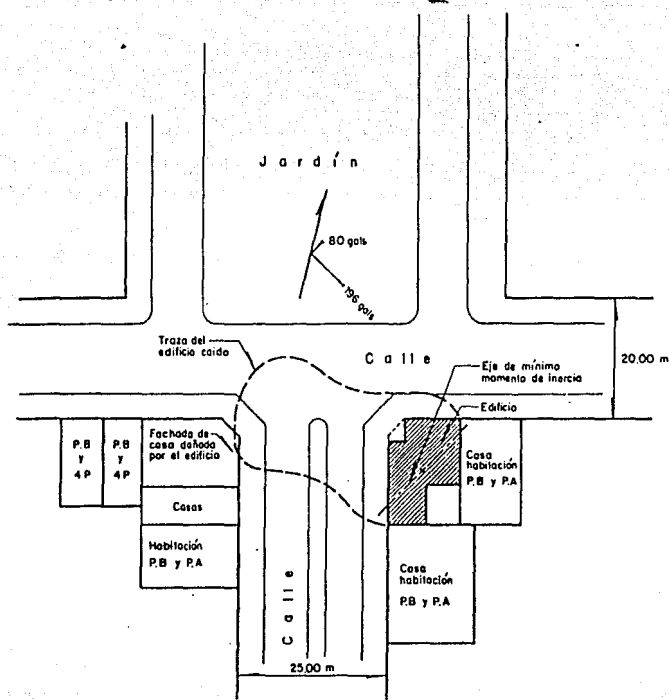
**FIGURA 8.9**  
CONTINUACION

Planta de cimentación que muestra la disposición de los pilotes. Note la excentricidad entre el centro de pilotes y el centro de cargas que, aunada a la plastificación de arcillas, produjeron el volcamiento. (referencia 48)



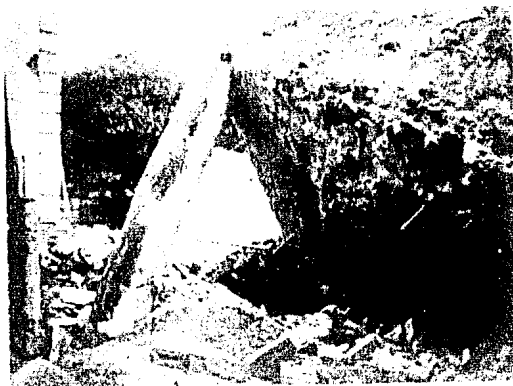
**FIGURA 8.9**  
CONTINUACION

Volcamiento del edificio. Este se derrumbó sobre una casa que no aparece en la fotografía. (Referencia 48)



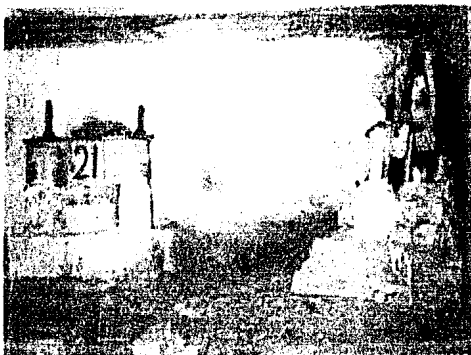
**FIGURA 8.9**  
CONTINUACION

Localización y traza del volcamiento del edificio. (referencia 48)



**FIGURA 8.10**

Falla de un edificio por volcamiento. Note el pilote de fricción extraído, éste se encontraba anclado a la estructura por medio de una varilla de acero de  $\varnothing 1"$ , lo cual indica plastificación de arcillas (referencia 89)



**FIGURA 8.11**

Falla de pilotes de control por falta de mantenimiento que provocó el hundimiento diferencial del edificio. (referencia 89)

## REFERENCIAS DEL CAPITULO VIII

- ( 1 ) Referencia 48, pág. 13, op. cit.
- ( 2 ) Referencia 21, pág. 106, op. cit.
- ( 3 ) Referencia 21, pág. 149-170, op. cit.
- ( 4 ) Referencia 48, op. cit.
- ( 5 ) Referencia 77, op. cit.
- ( 6 ) Referencia 27, op. cit.
- ( 7 ) Referencia 78, pág. 553, op. cit.
- ( 8 ) Referencia 21, pág. 174, op. cit.
- ( 9 ) Referencia 59, p.p. 303-306, op. cit.
- (10) Referencia 60, op. cit.
- (11) Referencia 89, op. cit.



**CAPITULO IX**





## IX.- ASPECTOS DE LA CONSTRUCCION EN ZONAS SISMICAS

### 9.1.- INTRODUCCION.

Como hemos venido enfatizando en todos los capítulos precedentes la importancia de la buena solución del proyecto arquitectónico, es preponderante para garantizar, tanto la estabilidad de un edificio, como sus condiciones de servicio durante la ocurrencia de un sismo. De igual importancia es el cuidado que se ponga a la solución estructural y al diseño. Sin embargo, aún cumpliendo cabalmente con todas las características que deben tener estos dos aspectos, no puede esperarse que los edificios se comporten adecuadamente, si su proceso constructivo es deficiente.

Hacer un detallado minucioso de los procesos, características, requerimientos y condiciones que deben cumplirse en la construcción, correspondería a elaborar un tratado específico y sumamente extenso, en virtud de la gran variedad de materiales y criterios profesionales existentes para tal efecto o, en el mejor de los casos, sería el equivalente a transcribir las normas dictadas por los reglamentos más comunes. (1,2,3,4)

En la siguiente parte se hace una descripción global de los principales aspectos que deben cumplir las construcciones, como siempre, desde el punto de vista sísmico.

### 9.2.- PLANOS EJECUTIVOS.

Podría suponerse que la labor del Arquitecto que proyecta y del Ingeniero que calcula, termina al hacer entrega de los planos ejecutivos, sin embargo, éstos deben cuidar que durante todo el proceso de construcción, se sigan los lineamientos marcados por ellos, apegándose dentro de lo posible, a dichos planos. En todo caso, se deben especificar claramente, tanto los requisitos de armado de todos los elementos estructurales, como las resistencias de los materiales a emplear. Así mismo, debe tenerse especial cuidado en indicar con toda claridad la disposición de muros, con la finalidad de mencionar cuales de ellos están diseñados para trabajar en conjunto con la estructura y cuales deben desligarse por medio de juntas que, evidentemente, también deberán ser detalladas.

Además de la información convencional, es necesario que los planos ejecutivos contengan, en general, la siguiente información:

- 1.- Especificación de las resistencias y tipos de materiales para construcción.
- 2.- En el caso de utilizar concretos fabricados en obra, además de indicar su resistencia, es recomendable especificar las proporciones cemento-arena-grava-agua. Este último material, el agua, generalmente es despreciado y así, suelen fabricarse concretos muy agudados para el colado de elementos verticales, por ejemplo. Debe tenerse siempre presente que la mayor parte de la resistencia del concreto la da la relación agua-cemento.

- 4.- Especificación de posibles sustituciones de diámetros de varillas de refuerzo, para estructuras de concreto. Esto es debido a que comunmente, escasea éste producto en el mercado y sugiere ser necesario substituir varillas, por ejemplo, una de 5/8" por una de 1/2" más otra de 3/8". Al respecto, debe recordarse que, para el cálculo estructural, el parámetro importante es el área de acero y no el diámetro.
- 5.- Especificaciones sobre la disposición de armado de las varillas de refuerzo, indicando el número máximo permisible de varillas en paquete, radios de doblez de escuadras y bastones y longitudes mínimas de empalmes y anclajes.
- 6.- Detallado de la disposición de anillos de refuerzo, especialmente en columnas, recordando que en estos elementos, los extremos deben tener doble cantidad de anillos, respecto a la zona central y no deben interrumpirse en el nodo de conexión con otros elementos. (Ver capítulo VII).
- 7.- En estructuras de acero, deben especificarse, tanto las características de los perfiles a emplear, como la de los elementos que se utilicen para fabricar las conexiones (soldaduras, tornillos o remaches), indicando la longitud y disposición de los cordones de soldadura y la técnica para aplicarlos o, en su caso, la separación entre los centros de las perforaciones para remaches o tornillos.

Esta partida de especificaciones, deberá ser tanto más detallada, en cuanto la estructura sea menos importante, debido a que en esa medida, la mano de obra suele ser menos capacitada, llegándose en algunos casos extremos a la improvisación de herreros no especializados en éste tipo de estructuras.

- 8.- Especificar cuidadosamente, los detalles constructivos de elementos no estructurales, tales como muros divisorios; cancelerías y recubrimientos, sobre todo en fachadas; cielos falsos; ductos para instalaciones especiales; etc.

Todas las especificaciones mencionadas deben ser, insistentes, escrupulosas y sistemáticamente detalladas, en virtud de que la mano de obra mexicana, utilizada en la construcción, es generalmente poco capacitada y en la mayoría de los casos, se trata de personas sin ninguna clase de estudios, aprendidos en la propia práctica. Por otro lado, en muchos de los casos, los encargados de la obra, son profesionistas inexpertos e incluso, estudiantes de las carreras afines a la construcción.

### 9.3.- SUPERVISION DE OBRA.

El Reglamento para Construcciones del Distrito Federal, vigente a partir de 1985, especifica claramente que la supervisión de obras con más de 15m de altura o 3000 m<sup>2</sup> de construcción, debe estar a cargo de profesionistas autorizados por dicho departamento, para tal efecto, lo cual en la actualidad, sigue sin ser una práctica generalizada. (5)

Hacer conciencia de los efectos que pueden ocasionar los sismos en las construcciones y aún más importante, del peligro que pueden correr las vidas humanas, es

la mejor medida a tomar para garantizar la correcta ejecución de las obras. Desde el proyectista y el calculista, hasta la mano de obra utilizada en las construcciones. Dicho esto en términos del lenguaje constructivo, desde el peón, hasta el arquitecto o ingeniero, deben tener siempre presente que cualquier error cometido, por negligencia o inexperiencia, puede llegar a cobrar vidas humanas o, en el mejor de los casos, pérdidas materiales. No hay que olvidar que los sismos ponen a prueba a las construcciones y durante su ocurrencia, hasta los más pequeños errores, se hacen patentes.

Respecto a la supervisión de obras, pueden hacerse las siguientes recomendaciones:

- 1.- Revisar escrupulosa y sistemáticamente todos y cada uno de los procesos constructivos, desde las excavaciones para la cimentación, hasta los acabados, pasando por las instalaciones eléctricas, hidrosanitarias y especiales.
- 2.- Mantener estrecho contacto entre los supervisores de obra y las oficinas centrales, con la finalidad de reportar cualquier cambio que, por necesidad, se hagan en obra, respecto a los planos originales. En otras palabras, las soluciones en obra, deben ser autorizadas por los encargados del proyecto, especialmente si estas soluciones pueden, de alguna manera, cambiar las condiciones previstas inicialmente para la estructura.
- 3.- Revisar minuciosamente la calidad de los materiales para construcción, especialmente los utilizados para la estructura o comúnmente llamada obra negra. Esto se refiere con mayor rigor a los materiales empleados para la fabricación de concretos en obra (cemento, grava y arena), concretos premezclados y aceros estructurales.

De ninguna manera debe pensarse que estas recomendaciones son -- exageradas, baste con recordar las tragedias ocurridas durante los sismos del 19 y 20 de septiembre de 1985, en la Cd. de México, tan solo por poner uno de muchos otros ejemplos.

#### 9.4.- DUCTOS PARA INSTALACIONES.

En el capítulo V se mencionaron las características que deben -- guardar los huecos en losas planas, aligeradas o no, ya que estos son elementos de especial importancia por su gran vulnerabilidad.

Los huecos para el paso de instalaciones especiales como aire acondicionado, tiros de chimeneas o sépticos, etc., deben ser previstos desde el proyecto arquitectónico, con la finalidad de permitir que el detallado estructural para reforzar los elementos que se perforan, sea bien especificado en los planos; tanto su ubicación precisa en cada elemento, como las características y procedimientos para su sujeción.

En el caso de tener que decidir en obra este tipo de huecos, la -- solución debe ser aprobada invariablemente por el encargado del proyecto.

En el medio de la construcción, es inusual prever desde el proyec-

to, la ubicación precisa de los pasos para instalaciones comunes, eléctricas, hidrosanitarias o para gas butano u otro tipo de gases. En la práctica, éstas se ubican de acuerdo a las propias necesidades de la obra. Al respecto, existen reglamentadas varias disposiciones (6), del tipo de: el área de concreto desplazada por ductos o camisas de instalaciones, en la sección transversal de una columna, no debe exceder del 4% del área total de dicha sección. Estas disposiciones deben ser respetadas estrictamente o en todo caso, buscar otro tipo de soluciones que no afecten la resistencia de los elementos estructurales.

#### 9.5.- LA ÉTICA PROFESIONAL.

Deseo iniciar el final de este trabajo, con la cita del poeta griego, Hesíodo, anotada en la portada: "...Es virtuoso el hombre que por sí mismo, lo sabe todo. Bueno es también, el que escucha al que habla juiciosamente. Pero el que, ni de lo suyo sabe, ni deposita en él lo que de otro oye, es un tipo inservible..."

En la Arquitectura, como en cualquier otra rama del arte, la ciencia o la tecnología, existe una gama de conocimientos extensa y amplia. Es por esto que a lo largo de la historia, se han dividido en áreas específicas para su estudio y especialización. Por simple deducción, a menos que fuéramos realmente superdotados, no podemos pretender practicar profesionalmente y con acierto todas las ramas de esta hermosa carrera.

Es común en nuestro medio, encontrar profesionistas que proyectan y construyen con poco o sin ningún conocimiento estructural, que subestiman la importancia que tiene éste. No menos común es el contratar calculistas barateros que, por necesidad, transgreden los límites de seguridad de las construcciones, en pro de "servir al patrón". Y aún más, existen pseudoprofesionistas e incluso personas sin ningún conocimiento que, con una idea mal entendida del ahorro, deciden practicar como profesionistas construyendo ellos mismos, claro, con pocas catastróficas consecuencias.

Por otro lado, los supervisores de obra y los residentes, llegan a ser personas negligentes que desarrollan su deber sin ningún provecho; que visitan las obras a vuelo de pájaro. Y ya no se diga de los maestros de obra, albañiles, electricistas, plomeros y de más trabajadores de la construcción que desarrollan su labor cumpliendo horarios y no rendimientos.

En su sentido pragmático, la ética profesional, es el conjunto de valores morales con que debe y tiene que cumplir una persona al practicar una profesión. Sin elaborar un juicio de lo bueno y lo malo, para evitar polémicas inútiles, el desarrollo ético de cualquier profesión, redundará sin lugar a dudas en dos aspectos principales: Economía real y Seguridad.

La Arquitectura es un área del conocimiento que en sus facetas de

Arte, Tecnología y Humanismo, permite al hombre servir al hombre. Así debe ser siempre practi-  
cada y no para perjudicarlo con su mala aplicación. Esta profesión y todas sus ramas afines, de-  
ben desarrollarse con dignidad y ética inquebrantables.

No podemos permitir que se denigre el conocimiento, que se prosti-  
tuya la práctica; que la negligencia y la ignorancia sean causantes de catástrofes y pérdidas.  
No debemos olvidar que todos los conocimientos son elaborados para servir a la humanidad o,  
por lo menos, ese debe ser su fin último.

Manejarnos con un amplio sentido de la responsabilidad, con humil-  
dad para reconocer que no somos omnipotentes, en dos palabras, "con ética", es con toda seguri-  
dad, la mejor garantía de que nuestras construcciones serán seguras ante la implacable fuerza  
de los sismos.

## REFERENCIAS DEL CAPITULO IX.

- (1) Referencia 1a,op. cit.
- (2) Referencia 2.op. cit.
- (3) Referencia 35,op. cit.
- (4) Referencia 2a,op. cit.
- (5) Referencia 1a,pp. 45-50,op. cit.
- (6) Referencia 3B,pág. 21,op. cit.



**CONCLUSIONES**



## X.- CONCLUSIONES.

A lo largo de todo el trabajo presentado, se han obtenido consecutivamente, una serie de conclusiones parciales de suma importancia, de hecho, puede decirse que todo él, se conforma de conclusiones obtenidas de una gran cantidad de estudios realizados por científicos y profesionistas, en su mayoría, mexicanos, tal como se mencionó al principio. Sin embargo, de la visión global de todo éste, se pueden concluir los siguientes aspectos:

1.- México, es un país con una gran incidencia de eventos sísmicos, lo cual hemos tenido oportunidad de constatar, muchos de nosotros, en experiencias propias e, indudablemente, por innumerables rescenas históricas. Esta alta sismicidad, conllevado estudios y aprendizajes profundos sobre la génesis y efectos de los sismos, que pueden permitirnos, en la actualidad, crear construcciones seguras y resistentes. Aunque claro, falta mucho por aprender, pero hace más falta aún, divulgar éstos conocimientos a todos los niveles, desde los primarios, hasta las escuelas y facultades.

2.- La Arquitectura, es una profesión que la mayoría aprendemos con la principal idea de crear espacios bellos funcionales para el hombre y pensamos que el aspecto estructural, debe ser resuelto por profesionistas especializados en éste campo, lo cual es, hasta cierto punto, razonable. No podemos pretender que el estudiante de Arquitectura, aprenda a realizar ambas tareas con eficiencia pues, aunque sería ideal, se encuentra fuera de nuestro contexto profesional. Con la premisa de que el cálculo de estructuras es, en la inmensa mayoría, una rutina de operaciones numéricas, podemos enfatizar que, lo verdaderamente importante, es el criterio para diseñar. Este criterio sí puede y debe ser enseñado en nuestras facultades y escuelas, con su debida importancia y sobre todo, desde el punto de vista sísmico.

3.- El cálculo y Diseño de estructuras es generalmente complejo, por eso su estudio requiere de una profesión. Sin embargo, los principios y conceptos en que se fundamentan, son relativamente sencillos, basado siempre en el sentido común. El proyecto Arquitectónico, debe siempre seguir esos conceptos para garantizar que los edificios cumplan con ser seguros, funcionales y económicos en su construcción; en ese orden de importancia. Redundando en ésta idea, de nada serviría crear unproyecto estético y extraordinariamente bello sí, al ocurrir un sismo pone en peligro la vida de sus usuarios o, en el mejor de los casos pierde sus condiciones de servicio. Por ello, una fase determinante del Proyecto Arquitectónico, debe ser su correlación con el proyecto estructural, en otras palabras, uno debe ser corregido por el otro en un circuito de retroalimentación continua y sistemática.



4.- Proyectar con un criterio sísmico, conduce invariablemente a estructuras sencillas, fáciles de analizar, diseñar y construir. Esto redundará en mayor seguridad y menor posibilidad de falla de los edificios y por ende, a construcciones económicas. Obsta decir que lo contrario sucede si, al realizar proyectos arquitectónicos, no se considera la inminente ocurrencia de los movimientos telúricos.

5.- Cabe señalar como sumamente importante, que de nada sirve proyectar tomando en cuenta los aspectos sísmicos, diseñar rigurosamente las estructuras y prever las condiciones de los elementos estructurales si, el proceso constructivo de los edificios o los materiales que se empleen, no son adecuadamente seleccionados, revisado y ejecutados.

6.- Por último, debe existir siempre, una clara conciencia de los efectos que pueden tener los sismos en las construcciones y aún más importante, en las vidas humanas. Desarrollarnos con inquehantable ética profesional, es sin lugar a dudas, la mejor garantía que podemos tener de que, nuestros edificios, resistirán fuerzas sísmicas y de cualquier otra índole, cumpliendo así con el único objetivo que debe tener la práctica de todo conocimiento: el de servir al hombre

# BIBLIOGRAFÍA



- 1 .- AMBROSE JAMES  
Diseño simplificado de estructuras de edificios  
LIMUSA  
Edición Primera 1982 Mexico D.F.
- 1a .- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE  
Building Code Requirements for Reinforced Concrete -  
(ACI 318 - 71)  
ACI  
Edición primera 1971 U S A
- 2 .- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION INC.  
Manual of Steel Construction  
SCI  
Edición sexta 1980 Chicago U S A
- 3 .- APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL  
Tentative Provisions for the Development of Seismic -  
Regulations for Buildings (ATC 3-06)  
ATC  
Edición primera 1978 U S A
- 4 .- ARANDA G. DIAZ O.  
Análisis Sísmico Estático de Edificios Irregulares en  
Elevación  
III Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería  
  
Edición primera 1981 Caracas VENEZUELA
- 5 .- ARNOLD CHRISTOPHER . REITHERMAN ROBERT  
Building Configuration and Seismic Design  
JOHN WILEY AND SON  
Edición primera 1982 U S A
- 6 .- AYRES J. SUN T.  
Non Structural Damage San Fernando Earthquake of -  
February 9 1971  
DEPARTAMENT OF COMMERCE N. O. A. A.  
Edición primera 1973 U S A
- 7 .- BEER FERDINAND. JOHNSTON RUSSELL  
Estética Tomo I  
MC GRAW-HILL  
Edición tercera 1979 MEXICO D.F.
- 8 .- BENET HUMBERTO  
Manual de Losas Aligeradas con Sonovoid  
INDEPENDIENTE  
Edición primera 1970 MEXICO D.F.
- 9 .- BETANCOURT SERGIO  
Criterios de Diseño Estructural y aplicación de las -  
Normas de Emergencia  
SIMPOSIUM DE INGENIERIA SISMICA EN LA CIUDAD DE MEXICO  
R.S.I.  
Edición primera 1987 MEXICO D.F.

- 10 .- BLUME J. NEWMARK N. CORNING L.  
Desing of Multistory Reinforced Concrete Buildings for  
Earthquake Motions  
PORTLAND CEMENT ASSOCIATIONS  
Edición primera 1961 U S A
- 11 .- INSTITUTO DE GEOFISICA  
Boletín Informativo Mensual  
I.G. UNAM  
Edición primera 1985 MEXICO D.F.
- 12 .- BOLIVAR J.  
Geología  
I.I. UNAM  
Edición primera 1977 MEXICO D.F.
- 13 .- BOLT B.A  
Earthquakes a Primer  
W H FERMAN AND COMPANY  
Edición primera 1978 Sn. Francisco USA
- 14 .- BRANSON LANE  
Mecanica Para Estudiantes de Ingenieria  
FONDO EDUCATIVO INTERAMERICANO  
Edición primera 1970 Bogota COLOMBIA
- 15 .- BRESLER BORIS. LIN T.  
Diseno de Estructuras de Acero  
LIMUSA  
Edición primera 1970 MEXICO D.F.
- 16 .- CASTILLO HEBERTO  
Análisis y Diseno Estructural  
R.S.I.  
Edición primera 1976 MEXICO D.F.
- 17 .- CHACON JORGE. MORALES RAFAEL  
Sismologia y Sismicidad. Macrosismo de 19 de Septiembre  
de 1985  
INDEPENDIENTE  
Edición primera 1987 MEXICO D.F.
- 18 .- CLOUGH R.W. PENZIEH J.  
Dynamics of Stuctures  
MC GRAW-HILL  
Edición primera 1975 JAPON
- 19 .- COLINDRES RAFAEL  
Dinamica de Suelos y Estructuras  
LIMUSA  
Edición primera 1983 MEXICO D.F.

- 20 .- DE BUEN OSCAR  
Estructuras de Acero  
LIMUSA  
Edicion primera 1980 MEXICO D.F.
- 21 .- DOWRICK D.J.  
Diseno de Estructuras Resistentes a Sismos  
LIMUSA  
Edicion primera 1984 MEXICO D.F.
- 22 .- ESTEVEZ FAUSTO, MARTINEZ LORENZO  
Varilla de Acero de Alta Ductilidad Para Zonas Sismi -  
cas  
REVISTA CIENCIA Y DESARROLLO 75 ANO XIII  
CONACYT  
Edicion julio 1987 MEXICO D.F.
- 23 .- ESTRADA GABRIEL  
Estructuras Antisismicas  
C.E.C.S.A.  
Edicion primera 1972 MEXICO D.F.
- 24 .- ESTEVA LUIS, RASCON OCTAVIO  
El Sismo del 19 de Septiembre de 1985: Aspectos de In-  
genieria  
REVISTA DE INGENIERIA No 3  
I.I UNAM  
Edicion primera 1985 MEXICO D.F.
- 25 .- ESTEVA LUIS, RUIZ S.  
Analisis Probabilistico de la Respuesta Sismica de Es -  
tructuras Sobre variosApoyos en Suelos Blandos,  
I.I UNAM  
Edicion primera 1980 MEXICO D.F.
- 26 .- FARIAS RAFAEL  
Muros de Carga. Sismo  
I.I. UNAM  
Edicion segunda 1984 MEXICO DF
- 27 .- FERNANDEZ JORGE, ORTIZ CARLOS  
Estudio del Comportamiento del Edificio Durante el -  
Sismo del 19 de Septiembre de 1985: Isabel la Catolica  
y Uruguay  
INDEPENDIENTE  
Edicion primera 1986 MEXICO D.F.
- 28 .- FIGUEROA JESUS  
Carta Sismica de la Republica Mexicana  
I.I. UNAM  
Edicion primera 1959 MEXICO D.F.
- 29 .- FIGUEROA JESUS  
Sismicidad en la Cuenca del Valle de Mexico  
I.I.UNAM  
Edicion primera 1971 MEXICO D.F.

- 30 .- GARCIA LUIS  
Interpretacion del Colapso de los Edificios de Puben -  
za Durante el Sismo de Popayan de Marzo 31 de 1983  
S.I.S.C.M.  
R.S.I.  
Edicion primera 1987 MEXICO D.F.
- 31 .- GHALI A. NEVILLE A.  
Analisis Estructural  
DIANA  
Edicion primera 1983 MEXICO D.F.
- 32 .- GINSBERG JERRY. GENIN JOSEPH  
Dinamica  
INTERAMERICANA  
Edicion primera 1977 MEXICO D.F.
- 33 .- HIRAISHI HISAHIRO. HIROSAWA MASAYA  
Investigacion de un Edificio de Oficinas de Doce Pisos  
Danado por el Temblor de 1985 de la Cd. de Mexico.  
SIMPOSIUM ING. SISMICA  
Colegio de Ing. Civiles Mexicanos  
Edicion primera 1987 MEXICO D.F.
- 34 .- HUANG T.  
Mecanica Para Ingenieria  
R.S.I.  
Edicion primera 1967 MEXICO D.F.
- 35 .- INSTITUTO DE INGENIERIA  
Requisitos de Seguridad y Servicio Para las Estructu -  
ras del Reglamento de construcciones Para el Distrito -  
Federal No 400  
I.I. UNAM  
Edicion primera 1977 MEXICO D.F.
- 36 .- INSTITUTO DE INGENIERIA  
Diseno y Construccion de Estructuras de Concreto  
I.I. UNAM  
Edicion primera 1977 MEXICO D.F.
- 37 .- INSTITUTO DE INGENIERIA  
Manual de Diseno Por Sismo. No 406  
I.I. UNAM  
Edicion primera 1977 MEXICO D.F.
- 38 .- INSTITUTO DE INGENIERIA  
Normas de Emergencia al Reglamento de Construcciones -  
Para el Distrito Federal  
I.I. UNAM  
Edicion primera 1986 MEXICO D.F.
- 39 .- INSTITUTO DE INGENIERIA  
Diseno y Construccion de Cimentaciones No 407  
I.I. UNAM  
Edicion primera 1977 MEXICO D.F.

- 40 .- JIMENEZ Z.  
Sismos y Sismologia  
I.I. UNAM  
Edicion primera 1979 MEXICO D.F.
- 41 .- JUAREZ EULALIO. RICO ALFONSO  
Mecanica de Suelos  
LIMUSA  
Edicion tercera 1974 MEXICO D.F.
- 42 .- LEET DON. JUDSON SHELDON  
Fundamentos de Geologia Fisica  
LIMUSA  
Edicion primera 1968 MEXICO D.F.
- 43 .- LOPEZ OSCAR  
Estudio del Comportamiento de Edificios Sujetos a -  
Fuerzas Sismicas  
I.I UNAM  
Edicion No editado 1987 MEXICO D.F.
- 44 .- MANUAL DE DISENO DE OBRAS CIVILES. CFE  
Manual de Diseno de Obras Civiles. Partes C.1.3.y -  
B.1.4.  
C. F. E.  
Edicion primera 1970 MEXICO D.F.
- 45 .- MARSAL RAUL. MAZARI MARCOS  
El Subsuelo de la Ciudad de Mexico  
I.I. UNAM  
Edicion segunda 1969 MEXICO D.F.
- 46 .- MELI R. BAZAN E.  
Manual de Diseno sismico de Edificios  
I.I. UNAM  
Edicion primera 1983 MEXICO D.F.
- 47 .- MENA E.  
Acelerogramas del Centro SCOP.19.9.85  
I.I. UNAM  
Edicion primera 1985 MEXICO D.F.
- 48 .- MENDOZA. AUVINET  
Comportamiento de Cimentaciones Durante el sismo del -  
19 de Septiembre de 1985 en la Cd. de Mexico  
I.I. UNAM  
Edicion pendiente 1987 MEXICO D.F.
- 49 .- MINAMI TADAO. KASHIMA TOSHIHIDE  
Mediciones con Microtremor en las Construcciones de la  
Cd. de Mexico a raiz de los simos 19 y 20.9.85.  
SIMPOSIUM ING. SISMICA  
R.S.I.  
Edicion primera 1987 MEXICO D.F.

- 50 .- MURAKAMI MASAYA. OKADA TSUNEO  
Evaluacion de Danos Causados por Terremotos en Edifi -  
cios de Concreto Armado  
SIMPOSIUM ING. SISMICA  
R.S.I.  
Edicion primera 1987 MEXICO D.F.
- 51 .- OKADA TSUNEO  
Normas Para la Evaluacion de la Capacidad Sismica de -  
los Edificios de Concreto ya existentes.  
SIMPOSIUM I. SISMICA  
R.S.I.  
Edicion primera 1987 MEXICO D.F.
- 52 .- OKADA TSUNEO. MUROTA TATSUO  
Capacidad Sismica de los Edificios de Concreto Refor -  
zado que Sufrieron Danos Durante el Terremoto MEX1985.  
SIMPOSIUM I. SISMICA  
R.S.I.  
Edicion primera 1987 MEXICO D.F.
- 53 .- OLVERA ALFONSO  
Analisis Calculo y Diseno de Edificios  
C.E.C.S.A.  
Edicion primera 1979 MEXICO D.F.
- 54 .- PARKER HARRY  
Diseno Simplificado de Concreto Reforzado  
LIMUSA  
Edicion primera 1971 MEXICO D.F.
- 55 .- PARKER HARRY  
Mecanica y Resistencia de Materiales  
LIMUSA  
Edicion segunda 1961 MEXICO D.F.
- 56 .- PARKER HARRY  
Principios de Mecanica  
LIMUSA  
Edicion primera 1972 MEXICO D.F.
- 57 .- PARK R. PAULAY T.  
Reinforced Concrete Structure  
JOHN WILEY AND SON  
Edicion primera 1975 U.S.A.
- 58 .- PARMA DOMENICO  
Calculo de Entrepisos Reticulares  
PRAG  
Edicion primera 1955 Bogota COLOMBIA
- 59 .- PECK RALPH. HANSON WALTER  
Ingenieria de Cimentaciones  
LIMUSA  
Edicion segunda 1987 MEXICO D.F.



- 60 .- PECK RALPH.TERZAGHI KARL  
Mecanica de Suelos en la Ingenieria Practica  
EL ATENEO  
Edicion segunda 1973 ESPANA
- 61 .- PERAFFAN ANTONIO  
Geologia Para Ingenieros  
SERVIGRAFICAS  
Edicion primera 1978 Popayan COLOMBIA
- 61a .- PORTLAND CEMENT ASSOCIATION  
Notes on ACI 318-77 Building Code Requierements for -  
Reinforced Concrete. Tomos I y II  
P.C.A  
Edicion primera 1978 U.S.A.
- 62 .- PRINCE JORGE  
Acelerogramas de los Viveros de Coyoacan y Tacubaya  
I.I. UNAM  
Edicion primera 1985 MEXICO D.F.
- 63 .- PRINCE JORGE  
Acelerogramas de Cd. Universitaria 19.9.85.  
I.I. UNAM  
Edicion primera 1985 MEXICO D.F.
- 64 .- PONCE LAUTARO. JIMENEZ ZENON. Y OTROS  
El sismo del 19.9.1985:Informe Geofisico y Evaluacion-  
Preleminar Coordinado por el Dr. Ismael Herrera R. -  
REV. INGENIERIA # 3  
F.I. UNAM  
Edicion primera 1985 MEXICO D.F.
- 65 .- POPOV EGOR  
Introduccion a la Mecanica de Solidos  
LIMUSA  
Edicion primera 1976 MEXICO D.F.
- 66 .- QUASS R.  
Acelerogramas de la Central de Abastos 19.9.1985  
I.I. UNAM  
Edicion primera 1985 MEXICO D.F.
- 67 .- RASCON OCTAVIO  
Notas de Diseno Sismico de Edificios.  
CURSO INTERNACIONAL DE ING. SISMICA  
F.I. UNAM  
Edicion primera 1983 MEXICO D.F.
- 68 .- I.M.C.Y.C.  
Revista INCYC. Numero Especial 176 Vol. 23  
I.M.C.Y.C.  
Edicion Diciembre 1986 MEXICO D.F.

- 69 .- C.O.N.A.C.Y.T.  
Revista de Informacion Cientifica y Tecnologica. No 2-  
VOL. 1  
C.O.N.A.C.Y.T.  
Edicion Julio 1979 MEXICO D.F.
- 70 .- C.O.N.A.C.Y.T.  
Revista Informacion Cientifica y Tecnologica No. 33 -  
VOL.11  
C.O.N.A.C.Y.T.  
Edicion Noviembre 1980 MEXICO D.F.
- 71 .- C.O.N.A.C.Y.T.  
Revista Informacion Cientifica y Tecnologica.  
NUMERO ESPECIAL 110 VOL.7  
C.O.N.A.C.Y.T.  
Edicion Noviembre 1985 MEXICO D.F.
- 72 .- REVISTA TIME  
Revista TIME. No 39  
TIME PRESS  
Edicion Septiembre 1985 U.S.A.
- 73 .- RIVAS ALEJANDRO  
Revisión al Reglamento de Construccion Para el Distrito  
Federal.  
SIMPOSIUM ING. SISMICA  
R.S.I  
Edicion primera 1987 MEXICO D.F.
- 74 .- ROSENBLUETH EMILIO  
Temblores Chilenos de Mayo de 1960:sus Efectos en Es -  
tructuras Civiles.  
I.I UNAM  
Edicion primera 1961 MEXICO D.F.
- 75 .- ROSENBLUETH EMILIO.CHOPRA ANIL.NEWMARK NATHAN  
Diseno de Estructuras Resistentes a Sismos  
I.M.C.Y.C.  
Edicion primera 1980 MEXICO D.F.
- 76 .- ROSENBLUETH EMILIO.ESTEVA LUIS  
Diseno Sismico de Edificios  
I.I. UNAM  
Edicion primera 1962 MEXICO D.F.
- 77 .- ROSENBLUETH EMILIO.MELI ROBERTO  
El Sismo del 19 de Septiembre de 1985:sus Efectos en -  
la Cd. de Mexico.  
REVISTA IMCYC VOL 24  
I.M.C.Y.C.  
Edicion Mayo 1986 MEXICO D.F.
- 78 .- ROSENBLUETH EMILIO.NEWMARK NATHAN  
Fundamentos de Ingenieria Sismica  
DIANA  
Edicion primera 1976 MEXICO D.F.

- 79 .- ROSENBLUETH EMILIO.SANCHEZ F.  
Ground Motion al Canyons of Arbitrary Shape Under  
Incident Sh.Waves  
I.I UNAM  
Edicion primera 1980 MEXICO D.F.
- 80 .- ROJAS ALEJANDRO  
Comportamiento del Edificio Ubicado en Chihuahua 156 -  
col. Roma.Durante el sismo del 19 septiembre 1985  
en la Cd. de Mexico.  
Edicion 1986 MEXICO D.F.
- 81 .- ROJAS SALOMON  
Comportamiento Sismico de Edificios Prehispanicos en -  
Mesoamerica  
TESIS DOCTORAL  
Edicion 1986 MEXICO D.F.
- 82 .- RUIZ S.  
Influencia de las Condiciones Locales en las Caracte -  
rísticas de los Sismos  
I.I. UNAM  
Edicion primera 1977 MEXICO D.F.
- 83 .- SASAKI YASUSHI  
Metodos de Reparacion para Estructuras de Obras Civi -  
les Danadas por Sismos  
R.S.I.  
Edicion primera 1987 MEXICO D.F.
- 84 .- SEARS FRANCIS.ZEMANSKY MARK  
Fisica General  
AGUILAR  
Edicion quinta 1975 Barcelona ESPANA
- 85 .- SHUNZOO OKAMOTO  
Introduction to Earthquake Engineering  
TOKYO PRESS  
Edicion primera 1984 Tokyo JAPON
- 86 .- PRIMER SIMPOSIUM INTERNACIONAL ING. SISMICA  
Estudio Estadístico de Danos en Inmuebles en el D.F. -  
Ocasionados por los Sismos de Septiembre de 1985  
D.D.F.  
Edicion septiembre 1986 MEXICO D.F.
- 87 .- SMITH JAMES.SEELY FRED  
Resistencia de Materiales  
UTEHA  
Edicion segunda 1967 MEXICO D.F.
- 88 .- TUMA JAN.MUNSHI R.  
Analisis Estructural Avanzado  
Mc. GRAW-HILL  
Edicion primera 1971 MEXICO D.F.

- 89 .- ZAMORA MILLAN  
Factibilidad de la Licuacion de Arcillas  
Fac. Ingenieria UNAM  
Edicion no editado 1987 MEXICO D.F.